

Introduction à l'étude expérimentale de la fixation du zinc 65 par *Anguilla anguilla* (L)

L. FOULQUIER (*), P. DELAUNAY (*), A. LAMBRECHTS (*)

(Manuscrit reçu le 17 juillet 1975)

RÉSUMÉ

Des anguilles provenant du delta rhodanien, de 15 à 20 g frais, représentant une biomasse totale de l'ordre de 200 g, sont placées dans des aquariums d'eau douce contenant du zinc 65 sous forme de nitrate ou de chlorure. La quantité de zinc 65 retenue par les poissons après 20 jours est de l'ordre de 2 p. cent de l'activité introduite. La fixation du radioélément est un phénomène progressif où un état d'équilibre semble difficile à obtenir. Les branchies, le foie, les reins et le tube digestif ont les activités spécifiques les plus fortes. La masse musculaire peut représenter jusqu'à 40 p. cent de la quantité de zinc 65 retenue. L'excrétion du zinc 65 est lente.

ABSTRACT

Eels from the Rhône River delta, with a live weight of 15 to 20 g representing a total biomass of about 200 g, were placed in fresh-water aquaria containing zinc 65 in nitrate or chloride form. The amount of ^{65}Zn retained by the fish after 20 days was approximately 2 p. cent of the activity introduced. ^{65}Zn fixation was a gradual phenomenon for which equilibrium conditions appeared difficult to achieve. After 21 days the concentration factor for the entire animal was about 14. The branchiae, liver, kidneys and digestive tract showed the greatest specific activity levels. The muscle structure could represent up to 40 p. cent of the zinc 65 retained by the eel. Zinc 65 was excreted slowly.

(*) Commissariat à l'Énergie Atomique, Département de Protection, Service de Recherches toxicologiques et écologiques, Laboratoire de Radioécologie continentale. B. P. n° 1, 13115 Saint-Paul-lez-Durance.

INTRODUCTION

Parmi les radionucléides induits, la présence de zinc 65 dans l'eau a souvent été notée après les explosions nucléaires ou en aval de certains réacteurs [1, 2]. GUSTAFSON a mesuré jusqu'à 500 pCi/kg de zinc 65 dans des saumons de la région de Chicago [3] et SAIKI en a trouvé dans les thons du Pacifique [4]. Le zinc est un élément biochimiquement important qui semble faire l'objet d'une régulation homéostatique chez les poissons [5, 6], d'où l'intérêt des études relatives à la fixation du zinc 65 qui peuvent aider à préciser les mécanismes d'échanges avec le milieu [7].

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Le principe de ces expériences a déjà été indiqué [7-9]. Ici le niveau de contamination par le nitrate de zinc 65 est de 4,5 $\mu\text{Ci/l}$. Pour étudier la cinétique de l'absorption ou de la désorption de cet élément par les anguilles, on mesure de manière comparative l'activité de huit animaux vivants après une légère anesthésie. Les dissections permettent de connaître l'activité spécifique précise de l'animal total et de ses organes. On exprime les résultats par rapport à l'activité introduite, après correction de la décroissance physique du radioélément.

TABLEAU I

TENEUR EN ZINC STABLE DANS L'ANGUILLE EN PARTIES PAR MILLION
EN FONCTION DU POIDS FRAIS

Animal total	:	20 à 80
Mucus	:	3 à 19
Peau	:	12 à 50
Tête	:	30 à 110
Branchies	:	40 à 80
Tube digestif	:	22 à 60
Foie	:	15 à 50
Reins	:	20 à 150
Squelette	:	60 à 120
Muscles	:	25 à 55

L'eau utilisée a un pH de 7,5, une teneur de l'ordre de 90 mg/l de Ca^{++} , de 250 mg/l de CO_3Ca et de 20 à 50 $\mu\text{g/l}$ de Zn^{++} . D'après RICE, les teneurs en Zn^{++} en eau douce peuvent varier de 5 à 300 $\mu\text{g/l}$ [2].

Des quantités notables de zinc existent dans les tissus des poissons [10, 11]. Le tableau I indique les valeurs que nous avons trouvées pour l'anguille.

RÉSULTATS

1. Pour le nitrate, comme pour le chlorure, on observe une décroissance régulière de l'activité de l'eau. Après 21 jours, ^{65}Zn est, en moyenne, distribué dans l'aquarium de la manière suivante : eau ≈ 56 p. cent, particules et dépôts $\approx 33,3$ p. cent, parois de l'aquarium ≈ 5 p. cent, diffuseur d'oxygène $\approx 0,2$ p. cent, filtre ≈ 4 p. cent et anguilles $\approx 1,5$ p. cent. Dans une mare expérimentale contenant plusieurs radionucléides, BRUNGS a observé que le zinc 65 était le plus fixé par le milieu vivant [12].

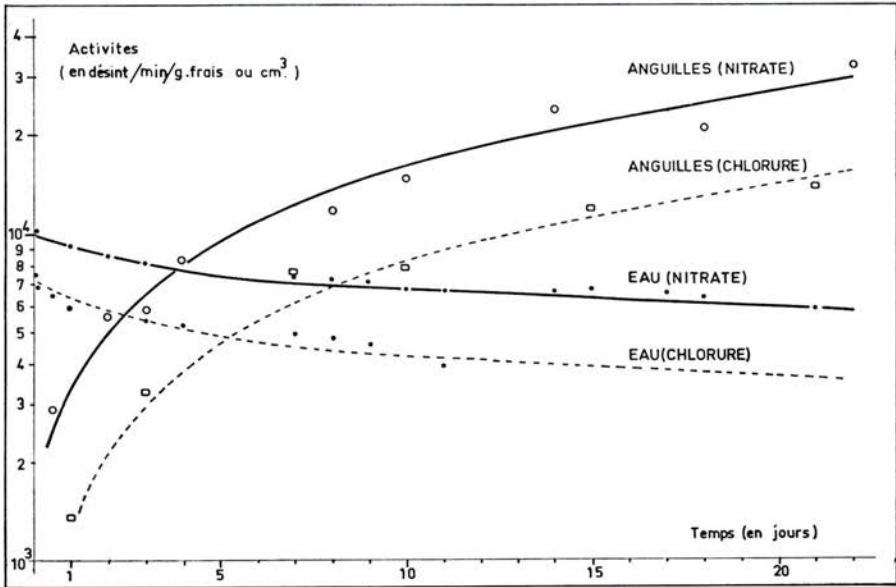


FIG. 1. — Évolution de l'activité de l'eau et cinétique de la fixation du nitrate et du chlorure de zinc 65 par les anguilles (comptage des animaux vivants).

2. La mesure de l'activité des animaux vivants (*fig. 1*) montre une phase rapide de fixation du zinc 65 dès les premiers jours, puis une phase plus lente qui se poursuit progressivement jusqu'à la fin de l'expérience. Les phénomènes observés sont identiques avec du chlorure de zinc 65 (*fig. 1*). Durant cette période, nous n'obtenons pas « d'état d'équilibre » [10, 13]. En plaçant des anguilles contaminées dans un circuit d'eau inactive, nous n'observons pas d'excrétion significative du zinc 65 (*fig. 2*). WATSON avait remarqué après l'arrêt du réacteur de Hanford que la perte de zinc 65 par les poissons était plus faible que pour les autres radioéléments [14]. Des constatations expérimentales voisines ont été faites sur *Micropogon undulatus* et *Cyprinus carpio* [11, 12, 15].

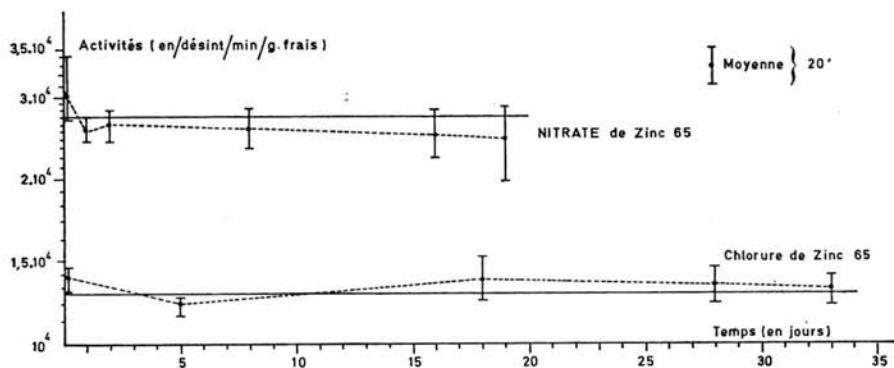


FIG. 2. — Après contamination par du zinc 65, évolution de l'activité des anguilles placées dans un circuit d'eau inactive (comptage des animaux vivants).

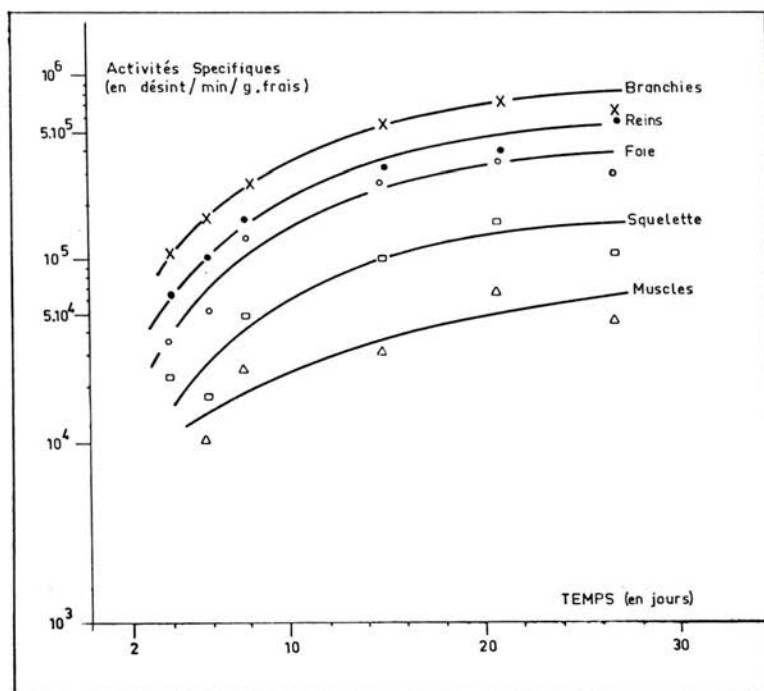


FIG. 3. — Cinétique de la contamination du zinc 65 (nitrate) de certains organes des anguilles.

3. Malgré les écarts individuels, parfois importants, les teneurs réelles en zinc 65 obtenues pour l'animal total et pour certains organes confirment la cinétique observée précédemment (tableau II, fig. 3).

A 21 jours, pour l'animal total, le rapport entre sa teneur en zinc 65 et celle de l'eau est voisin de 14. A 31 jours pour *Lepomis gibbosus*, il est de 23 à 57 [10]; à 50 jours pour la truite, les valeurs varient de 4 à 39 selon la teneur en calcium de l'eau [6].

Le même rapport pour le zinc stable donne des chiffres de 400 à 4 000 (tableau I) [2, 6, 16]. Les facteurs de concentration obtenus pour le zinc 65 sont toujours nettement inférieurs à ceux du zinc stable.

TABLEAU II

ÉVOLUTION DE LA TENEUR EN ZINC 65 DES ORGANES DES ANGUILLES

Temps (en jours)	Tube digestif	Activités des organes de deux individus (en désint./mln/g frais)										Animal total
		Foie	Rate	Reins	Mucus	Peau	Branchies	Muscles	Squelette	Tête		
4	53 390	35 340	98 900	72 950	16 840	43 490	120 190	13 920	19 840	19 100	24 180	
	108 090	36 590	110 500	57 610	14 750	48 490	97 780	17 740	25 350	29 310	31 090	
6	100 740	39 900	345 150	88 180	20 270	34 380	161 550	8 290	14 450	18 650	23 000	
	92 390	61 190	92 900	117 570	23 750	43 320	164 800	13 570	20 770	39 290	28 700	
8	244 700	114 980	125 600	136 930	15 540	48 490	268 110	23 730	38 760	42 790	38 800	
	176 150	136 020	333 600	212 710	33 930	61 570	256 190	26 310	54 560	57 030	47 910	
15	148 720	240 210	719 900	479 520	102 520	185 810	524 400	41 410	98 050	104 290	38 020	
	249 220	227 790	388 400	172 140	38 920	133 100	478 850	18 790	85 210	88 540	47 230	
21	333 770	379 660	304 100	379 100	109 380	—	824 740	76 210	154 870	130 790	112 450	
	256 210	228 280	613 800	377 620	122 240	155 880	479 730	71 730	151 940	104 610	80 470	
27	185 870	158 700	233 100	236 640	73 720	458 050	378 510	49 700	106 210	83 750	65 140	
	273 050	359 810	535 860	961 710	151 750	208 340	791 840	36 650	89 160	134 580	82 840	

Il en est de même pour les organes dont les facteurs de concentration moyens, après 21 jours, sont les suivants :

Branchies	≈ 100	Tube digestif	≈ 45
Rate	≈ 70	Squelette	≈ 23
Peau	≈ 58	Tête	≈ 18
Reins	≈ 58	Mucus	≈ 17
Foie	≈ 46	Muscles	≈ 11

Sur des carpes, LEBEDEVVA [15] obtient 8 pour les muscles, 30 pour le squelette et 100 pour les organes internes. D'autres expériences montrent que les activités spécifiques des branchies et des tissus associés à la digestion et à l'excrétion sont élevées [10, 13, 16, 17].

4. Durant la période de contamination, nous avons remarqué que la distribution du zinc 65 dans l'organisme varie peu au cours du temps. Après 25 jours, les muscles contiennent environ 23 p. cent du zinc 65 fixé et l'ensemble peau, mucus, tête et branchies plus de 45 p. cent (fig. 4). Après 20 jours

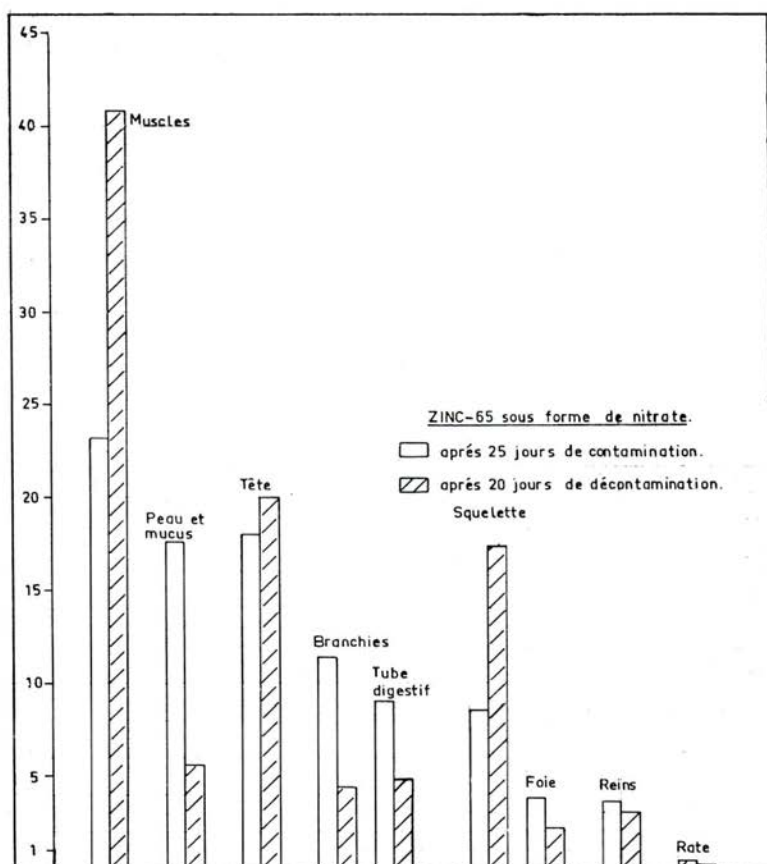


FIG. 4. — Pourcentage de zinc 65 retenu dans les organes par rapport à l'activité totale de l'animal.

de décontamination cette distribution évolue; la masse musculaire représente plus de 40 p. cent du zinc 65 retenu; par contre, on observe des phénomènes de désorption au niveau de la peau, du mucus et des branchies, la part revenant à la tête et au squelette augmentant par ailleurs (*fig. 4*) [10, 11].

CONCLUSION

Dans des conditions expérimentales précises, nous retiendrons que la capacité de fixation et de rétention du zinc 65 par les anguilles est importante. Les branchies, le foie, les reins et le tube digestif ont toujours des activités spécifiques élevées. La masse musculaire consommable représente une part importante du zinc 65 retenu. Les facteurs de concentration du zinc 65 sont

inférieurs à ceux du zinc stable, ce qui peut s'expliquer par la durée trop courte des expériences qui ne permet pas d'obtenir le stade d'« équilibre ». Cet aspect devra être éclairci, vu son importance en radioprotection. Des expériences avec différents niveaux de zinc 65 et de zinc stable permettront de vérifier comment, éventuellement, se fait la régulation du zinc par le poisson.

Des facteurs abiotiques, comme la teneur en calcium de l'eau ou la présence d'E.D.T.A. dans les rejets, peuvent faire décroître la fixation du zinc. Le pH de l'eau peut modifier les pourcentages en ions, hydroxydes ou formes particulières et ainsi changer les conditions de la fixation du zinc *in situ*.

Tous ces points méritent d'être précisés par la poursuite des expériences au moment où l'énergie nucléaire prend un tel développement industriel.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] FONTAINE Y. *La contamination radioactive des milieux et des organismes aquatiques*, Rapport C. E. A. n° 1588, 1960.
- [2] RICE T. R., Review of zinc in ecology. In : *Radioecology* (V. Schultz and A. W. Klement, eds.), Reinhold, New York, 1963, 619-632.
- [3] GUSTAFSON P. F. Comments on radionuclides in aquatic ecosystems. In : *Radioecological concentration processes* (B. Aberg and F. P. Hungate, eds.), Pergamon press, Oxford, 1967, 853-858.
- [4] SAIKI M. Études effectuées au Japon dans le domaine de la radioécologie marine. In : *Colloque sur la radioécologie marine*, Cherbourg, décembre 1968. OCDE, Paris, 1968, 83-90.
- [5] BITTEL R. Utilisation des informations des recherches radioécologiques relatives aux produits métalliques d'activation pour l'étude des transferts à l'homme de polluants chimiques, métalliques ou organo-métalliques. In : *La radioécologie appliquée à la protection de l'homme et de l'environnement*, Rome, Septembre 1971 (EUR-4800), Communautés européennes, Luxembourg, 1972, 1, 745-758.
- [6] POLIKARPOV G. G. In : *Radioecology of aquatic organisms*, North Holland, Amsterdam, 1966, 81-109.
- [7] BAUDIN J. P. Étude expérimentale de la fixation et de l'élimination du zinc 65 par *Mytilus galloprovincialis* (Lmk). *C. R. Acad. Sc.*, 1973, 277, D, 113-116.
- [8] DESCAMPS B., FOULQUIER L., AGUESSE P. et GRAUBY A. Données expérimentales sur la contamination d'*Anguilla anguilla* L. par le chrome 51 et son excrétion. *C. R. Acad. Sc.*, 1973, 276, D, 1193-1196.
- [9] REYNIER B., FOULQUIER L., ANGELIER E. et GRAUBY A. Premières données expérimentales sur la dynamique du césium 137 chez *Anguilla anguilla* L. *C. R. Acad. Sc.*, 1970, 270, D, 862-865.
- [10] MERLINI M. The effects of sublethal amounts of cadmium and mercury on the metabolism of ⁶⁵Zn by freshwater fish. In : *La radioécologie appliquée à la protection de l'homme et de l'environnement*, Rome, septembre 1971 (EUR-4800), Communautés européennes, Luxembourg, 2, 1327-1344.
- [11] CHIPMAN A. W., RICE T. R., et PRICE T. J. Uptake and accumulation of radioactive zinc by marine plancton, fish and shellfish. *Fisheries Bull. Fish and Wildlife Service*, 1958, 135, (58), 279-292.

- [12] BRUNGS W. A. *Distribution of cobalt 60, Zinc 65, Strontium 85, and Cesium 137 in a freshwater pond*. Public Health Service, Publication n° 888-RH-24, Rockville, Md, 1967, 50 p.
- [13] SAHEKI S., RAKESHI Y. et KOJIRO M. *Studies on nuclear species in contaminated fish and their movement in the body of the fish*. Proceedings of the 2. Japan Conf. on radioisotopes, USAEC Translation AEC-Tr-4482, 1958, 1560-1597.
- [14] WATSON D. G., CUSHING C. E., CONTANT C. C. et TEMPLETON W. L. Effect of Hanford reactor shutdown on Columbia River biota. In : 2. *symposium on radioecology* (D. J. Nelson and F. C. Evans, eds.) USAEC CONF-670503, 1969, 191-199.
- [15] LEBEDEVA G. D. et KOUZNETSOVA G. A. Uptake of zinc 65 by freshwater fish. *Gig. Sanit.*, 1969, 119-120.
- [16] HIBIYA T. et OGURI M. Gill absorption and tissue distribution of some radionuclide (^{51}Cr , ^{203}Hg , ^{65}Zn and $^{110\text{m}}\text{Ag}$) in fish. *Fish. Bull. of Japan, Society of Scient. Fisheries*, 1961, 27, 996-1000.
- [17] BUHLER D. R. Tissue binding of Zinc 65 in fish and other vertebrates. USAEC Report BNWL-480, 1967, 1, 172-174.