

INFLUENCE DU MODE DE CONTAMINATION
SUR L'ÉLIMINATION DU COBALT 60
PAR *SCROBICULARIA PLANA* (MOLLUSQUE BIVALVE)
ET *CARCINUS MAENAS* (CRUSTACÉ DÉCAPODE).

par

C. Amiard-Triquet (1) et J.-C. Amiard (2)

Centre d'Etudes nucléaires de Cadarache - Département de Protection - Service de Recherches
toxicologiques et écologiques - Laboratoire de Radioécologie continentale,
B.P. n° 1, 13115 Saint-Paul-lez-Durance

et
(1) Laboratoire d'Ecologie animale et Biologie marine, Université de Nantes,
B.P. no 1044, 44037 Nantes Cedex

(2) Laboratoire d'Océanographie biologique, Université Pierre-et-Marie-Curie,
Bât. A, 4, place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05.

Résumé

Les possibilités d'autoépuration des organismes étudiés (*Scrobicularia plana* et *Carcinus maenas*) ne sont pas indépendantes du mode de contamination par le cobalt 60 (ingestion unique ou chronique de nourriture radioactive). Ainsi, l'élimination du cobalt 60 par la Scrobiculaire et le Crabe est assez rapide dans le cas d'une contamination unique par voie alimentaire et beaucoup plus lente lorsque l'ingestion de nourriture radioactive a été répétée de nombreuses fois.

Introduction

Le cobalt, cofacteur du système enzymatique et constituant de la vitamine B₁₂ (Smith, 1962, 1965 ; Ecole d'été de Roscoff, 1971) est un oligoélément indispensable à la vie. L'étude écologique des isotopes radioactifs du cobalt a montré que cet élément est concentré intensément par un grand nombre d'organismes vivants (Mauchline, 1961 ; Robertson et coll., 1968 ; Fukai, 1968 ; Amiard et Le Lannou, 1973 ; Triquet, 1973).

Des travaux portant sur diverses espèces appartenant à plusieurs groupes zoologiques ont mis en évidence que le taux de renouvellement du cobalt est lent (Ravera et coll., 1968 ; Baptist et coll. 1970 ; Reichle et coll., 1970 ; Reed, 1971 ; Harrison, 1972 ; Van Weers, 1973 ; Amiard-Triquet et Amiard, 1974 ; Amiard-Triquet, 1974). Le cobalt 60, avec une période physique de 5,2 ans, a donc une période effective (1)

$$(1) \frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_b} + \frac{1}{T_p} \quad \text{où } T_e \text{ est la période effective, } T_b \text{ la période biologique, } T_p \text{ la période physique.}$$

relativement longue et, en conséquence, cet isotope doit être pris en considération d'un point de vue de protection sanitaire.

Divers paramètres sont susceptibles d'affecter la décontamination des organismes : forme physico-chimique, rôle biologique et mode d'adsorption des radiocontaminants et taille des animaux (Getsova, 1960 ; Crossley, 1964 ; Ruder Boskovic Institute, 1965 ; Duke et Rice, 1966 ; Keckes et coll., 1968 ; Bernhard, 1970 ; Reichle et coll., 1970).

Van VVeers (1973), expérimentant sur *Mytilus edulis*, a constaté que les caractéristiques de la phase d'accumulation n'étaient pas sans effet sur l'élimination du cobalt par cette espèce. Plus précisément, il observe que la décontamination est d'autant plus lente et plus faible que le temps de contamination a été plus long. Ces observations confirment les travaux du Ruder Boskovic Institute (1965) qui ont montré que la durée de la contamination expérimentale influençait qualitativement et quantitativement la décontamination.

Dans le même esprit, nous avons tenté d'évaluer les capacités d'autoépuration de deux espèces marines ayant subi une contamination par voie alimentaire plus ou moins prolongée : *Scrobicularia plana* et *Carcinus maenas*.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

1. - Mode de contamination.

Scrobicularia plana et *Carcinus maenas* ont été contaminés par voie alimentaire. Nous avons tenté de réaliser des chaînes trophiques expérimentales aussi proches que possible des chaînes naturelles en ce qui concerne les espèces étudiées, la nature des aliments et leur mode d'ingestion.

Les protocoles expérimentaux ont été décrits dans des publications antérieures (Amiard-Triquet et Amiard, 1974 ; Amiard-Triquet et Amiard, 1975 ; Amiard et Amiard-Triquet, 1975). Les Scrobiculaires ont reçu pour nourriture des Diatomées marines (*Navicula* sp.) contaminées par le cobalt 60 à partir de l'eau. Un à treize apports alimentaires ont été effectués. Les Crabes ont été nourris soit avec les Scrobiculaires ainsi contaminées (1 repas), soit avec des Arénicoles contaminées par l'intermédiaire de l'eau (2 à 19 repas).

2. - Décontamination.

Lorsque la phase de contamination est terminée, les spécimens biologiques sont placés dans une eau de mer naturelle, exempte de tout radiocontaminant. L'eau est renouvelée régulièrement tout au long de l'expérience et elle est constamment aérée. La manipulation a été réalisée à la température de $15 \pm 1^\circ \text{C}$ pour les Crabes nourris d'Arénicoles, à $17 \pm 1^\circ \text{C}$ dans les autres cas. Les Scrobiculaires et les Crabes ont été maintenus à jeun, sauf les Crabes B et G.

Après 50 et 72 jours de décontamination, de l'EDTA (1) (1 mg/l) a été ajouté dans le milieu de deux Crabes (G et M'). Après 118 et 127 jours, du chlorure de cobalt stable (3,3 mg/l) a été introduit dans le milieu des Crabes B, G et C.

Les mesures de radioactivité γ commencent deux jours après le dernier repas. D'après nos observations personnelles, ce temps est nécessaire pour que la digestion s'effectue et que le tube digestif se vide des fèces. Les fèces et les excréments liquides émis pendant cette période ont été recueillis et leur radioactivité mesurée. La radioactivité est mesurée « in vivo » sur tous les organismes, tous les trois ou quatre jours au début de la décontamination puis, généralement, de semaine en semaine.

La phase de décontamination s'est étendue sur 46 à 57 jours pour les Scrobiculaires, 37 à 170 jours pour les Crabes. En fin d'expérience, les Crabes ont été disséqués, huit organes ont été séparés et leur radioactivité mesurée dans le but de définir la répartition du cobalt 60 dans l'organisme.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. - Décontamination de *Scrobicularia plana*.

La figure 1 montre que l'élimination du cobalt 60 par *Scrobicularia plana* est faible. Pour l'organisme entier, la période effective est de l'ordre de 30 jours pour les animaux qui ont reçu un seul apport alimentaire. Elle est un peu supérieure à la durée de notre expérience (= 57 jours) et, par extrapolation, on peut l'estimer à 66 jours environ pour les animaux ayant reçu treize apports alimentaires.

Les courbes représentatives du pourcentage de cobalt 60 non éliminé en fonction du temps ne sont pas des exponentielles simples. L'analyse de ces courbes semble indiquer que le phénomène global observé correspond à l'élimination du cobalt 60 par deux compartiments différents. Nous pouvons estimer approximativement à 2 à 4 jours la période de la première phase de décontamination. Pendant la seconde phase, le cobalt 60 est éliminé avec une période effective de 40 jours environ par les individus ayant reçu un seul apport alimentaire, de 90 jours environ par les spécimens ayant reçu treize apports alimentaires.

La figure 1 montre que l'élimination du cobalt 60 est toujours plus importante pour les individus ayant reçu un seul apport alimentaire et que le phénomène est d'autant plus marqué que le temps de décontamination pris en considération est plus long.

Nous constatons donc que l'autoépuration est faible chez les animaux qui, ayant reçu de nombreux apports alimentaires, sont par-

(1) EDTA = ethylenediamine tetracetic acid.

venus à l'état d'équilibre (1). Ces résultats sont en accord avec ceux du Ruder Boskovic Institute (1965) et de Van Weers (1973), bien que ces auteurs aient réalisé des contaminations par l'intermédiaire de l'eau et non de la nourriture.

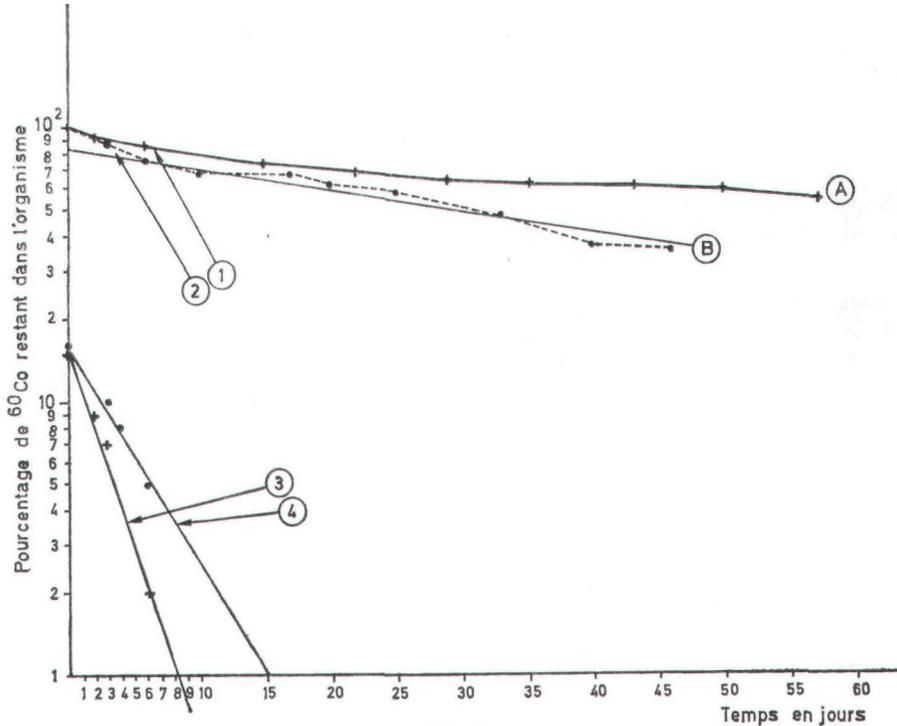


FIG. 1

Influence du nombre de repas sur l'élimination du cobalt 60 par *Scrobicularia plana*.
A - Scrobiculaires ayant reçu 13 repas (1 et 3); B - Scrobiculaires ayant reçu 1 repas unique (2 et 4).

Rappelons que nous avons distingué la phase de digestion de la phase de décontamination proprement dite. Durant la digestion (48 heures), nous avons mesuré une excrétion du cobalt 60, tant sous forme solide que sous forme liquide, d'environ 15 à 20 p. 100 par rapport à l'ensemble du cobalt 60 contenu dans l'animal immédiatement après l'apport alimentaire. Ce fort pourcentage s'explique par le fait que la radioactivité de la nourriture (Diatomées) est très élevée par rapport à la radioactivité du consommateur (Saiki, 1968 ; Amiard et Amiard-Triquet, 1975).

2. - Décontamination de *Carcinus maenas*.

a) Influence du nombre de repas sur l'élimination de ^{60}Co [tableau I).

Les Crabes qui ont reçu un ou deux repas, quelle que soit la nourriture fournie, éliminent ensuite un pourcentage relativement important du cobalt 60 présent dans l'organisme à la fin de la période de

(1) L'état d'équilibre est atteint quand la quantité de radionucléide excrétée est égale à la quantité ingérée.

TABLEAU 1

Influence du nombre de repas sur l'élimination du cobalt 60 par *Carcinus maenas*

Référence Crabe	Nature des repas	Poids	Nombre de repas	Pourcentage de ⁶⁰ Co éliminé en 37 jours	Pourcentage de ⁶⁰ Co éliminé en 92 jours	Pourcentage de ⁶⁰ Co éliminé en 150 jours
♂ S ₃	Scrobiculaires	33,7	1	22,2		
♂ S ₄	Scrobiculaires	30,4	1	22,2		
♀ J''	Arénicoles	23,2	2	14,3	31,7	29,2
♀ A'	Arénicoles	23,8	4	0	13,0	
♂ M'	Arénicoles	22,9	6	2,3	3,0	8,9
♂ R	Arénicoles	26,9	10	0	0	8,4
♀ S	Arénicoles	20,4	10	8,7	12,3	18,5
♀ C'	Arénicoles	45,8	14*	2,3	0	0
♂ B	Arénicoles	24,3	17*	0	0	0
♀ G	Arénicoles	28,8	19*	0	0	0

(*) A l'équilibre.

digestion. Ceux qui ont reçu quatre, six ou dix repas présentent généralement une élimination beaucoup plus faible. Nous constatons que les Crabes qui sont parvenus à l'état d'équilibre au cours de la phase de contamination (C, B et G) n'éliminent pas le cobalt accumulé dans l'organisme pendant une période de décontamination de 150 jours.

Ce résultat est tout à fait comparable à celui obtenu pour *Scrobicularia plana*.

Remarques.

1) L'ingestion de nourriture non contaminée et l'addition d'EDTA ou de cobalt stable dans le milieu n'ont pas modifié le phénomène de décontamination (Amiard-Triquet et Amiard, 1974).

2) Nous avons distingué les phases de digestion et de décontamination. L'excrétion du cobalt 60 au cours de la digestion du dernier repas représente 2 à 10 p. 100 de la radioactivité de l'animal entier.

b) Influence du nombre de repas sur la répartition du cobalt 60 dans l'organisme à la fin de la phase de décontamination.

Dans une expérience antérieure (Amiard-Triquet et Amiard, 1975), nous avons observé que la répartition du cobalt 60 dans l'organisme des Crabes après digestion et élimination des fèces variait en fonction du nombre de repas reçus par l'animal. Ces différences semblent se perpétuer après une période de décontamination comprise entre 37 et 170 jours : le pourcentage de la radioactivité présente dans l'hémolymphe est généralement d'autant plus élevé que les animaux ont reçu un plus grand nombre de repas (tableau 2). Le phénomène est inverse pour l'hépatopancréas. Le nombre de repas reçus au cours de la période d'accumulation du cobalt 60 n'influe pas ou influe peu sur la contamination relative des autres organes.

L'interprétation de ces observations s'avère délicate car :

les variations du temps de décontamination viennent s'ajouter aux variations du nombre de repas ;

TABLEAU 2

Influence du nombre de repas sur la répartition du cobalt 60 chez *Carcinus maenas* à la fin de la phase de décontamination.
(Les résultats sont exprimés pour chaque organe en pourcentage de la somme des radioactivités de tous les organes.)

Réf. Individus	S ₃	S ₄	J''	M'	S	R	C'	B	G
Nombre de repas	1	1	2	6	10	10	14	17	19
Temps après le dernier repas (jours) ..	37	37	170	150	140	140	140	150	150
Hémolymphhe	18,26	17,96	22,9	17,4	42,06	49,65	13,65	46,4	36,1
Pièces buccales ..	9,94	6,43	6,7	7,3	11,67	8,36	7,44	5,4	5,5
Carapace	0,50	1,74	5,0	8,6	1,41	0,24	0,59	2,6	2,6
Moulinet gastrique	16,52	11,93	7,0	9,3	3,77	3,16	5,56	7,9	11,0
Branchies	8,70	10,46	9,3	7,2	18,96	13,44	8,21	13,2	10,5
Hépatopancréas ..	36,89	44,64	18,0	21,2	13,04	19,86	49,53	7,0	21,6
Organes génitaux .	4,60	4,29	25,5	24,7	5,21	1,28	11,94	14,0	8,3
Muscles	4,60	2,95	5,7	4,7	3,88	4,01	3,07	3,6	4,2

pour chaque repas, les mesures ont été effectuées sur un ou deux animaux seulement ; or, le comportement alimentaire peut fluctuer considérablement d'un individu à l'autre.

c) Evolution de la répartition du cobalt 60 dans l'organisme au cours de la décontamination.

Pour un nombre identique de repas (1, 2, 6 ou 10), nous avons comparé la répartition du cobalt 60 dans l'organisme à la fin de la digestion et après un temps de décontamination variable (tableau 3).

Dans tous les cas, nous constatons que la décontamination provoque une diminution du pourcentage de radioactivité correspondant

TABLEAU 3

Evolution de la répartition du cobalt 60 chez *Carcinus maenas* au cours de la décontamination.
(Les résultats sont exprimés pour chaque organe en pourcentage de la somme des radioactivités de tous les organes.)

Réf. Individus	S ₅	S ₃ et S ₄ (moy.)	A ₁ et A ₃ (moy.)	J''	A ₆	M'	A ₄	R et S (moy.)
Nombre de repas	1	1	2	2	6	6	10	10
Temps après le dernier repas (jours) ..	2	37	2	170	2	150	2	140
Hémolymphhe	7,26	18,11	6,8	22,9	16,5	17,4	21,5	45,86
Pièces buccales ..	1,12	8,19	7,0	6,7	4,3	7,3	2,9	10,02
Carapace	0,77	1,12	1,07	5,0	0,8	8,6	0,4	0,83
Moulinet gastrique	5,78	14,03	11,7	7,0	9,8	9,3	6,3	3,47
Branchies	10,12	9,58	6,4	9,3	7,3	7,2	12,1	16,20
Hépatopancréas ..	69,33	40,77	63,5	18,0	58,2	21,2	52,0	16,45
Organes génitaux .	3,99	4,45	2,05	25,5	1,6	24,7	2,3	3,25
Muscles	2,15	3,78	1,2	5,7	1,7	4,7	2,4	3,95

à l'hépatopancréas. Par contre, la part de l'hémolymphe devient généralement plus importante ainsi que celle des pièces buccales et, à un moindre degré, celle des muscles. Pour les autres organes, les variations sont insignifiantes.

Il semble donc que le cobalt 60, stocké dans l'hépatopancréas au cours de la contamination, repasse progressivement dans le liquide circulant au cours de la décontamination.

Conclusion

L'expérience rapportée dans cette publication confirme les données fournies par la littérature et nos résultats antérieurs (Amiard-Triquet, 1974) selon lesquels le renouvellement du cobalt dans les organismes vivants est lent.

Nous avons mis en évidence que les possibilités d'autoépuration des organismes ne sont pas indépendantes du mode de contamination par le cobalt 60 (ingestion unique ou chronique de nourriture radioactive). Cette observation, ainsi que celles des chercheurs du Ruder Boskovic Institute (1965) et de Van Weers (1973) sur les Moules, permettent d'estimer que, dans le cas d'une contamination accidentelle du milieu, les organismes vivants seront susceptibles d'éliminer relativement vite une part importante du cobalt 60 accumulé. Par contre, dans le cas d'une contamination de longue durée, l'élimination du cobalt 60 sera beaucoup plus lente.

Summary

The loss of ^{60}Co by *Scrobicularia plana* and *Carcinus maenas* as influenced by the way of contamination.

The elimination of ^{60}Co by *Scrobicularia plana* and *Carcinus maenas* depends upon the way of contamination: the loss of cobalt by both species is relatively fast after a single intake of contaminated food. It is slower after chronic ingestion of radioactive food.

Zusammenfassung

Die ^{60}Co -Ausscheidung von *Scrobicularia plana* und *Carcinus maenas* hängt vom Kontaminationsweg ab: Der Co-Verlust beider Spezies ist relative schnell nach einer einmaligen Aufnahme kontaminierter Nahrung. Er ist langsamer nach chronischer Aufnahme radioaktiver Nahrung.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- AMIARD, J.-C. et LE LANNOU, M., 1973. — Les variations du facteur de concentration du cobalt 60 chez la moule *Mytilus edulis* L. XXIII^e Congrès-Assemblée plénière du C.I.E.S.M., Athènes, 3-11 novembre 1972. *Thalassia Jugosl.*, 9 (1 et 2), pp. 139-148.
- AMIARD, J.-c. et AMIARD-TRIQUET, c., 1975. — Expérience préliminaire à l'utilisation d'une chaîne trophique marine dans l'étude d'une pollution par le cobalt 60 : bilan après une ingestion unique. *Water, Air and Soil Pollution* (sous presse).

- AMIARD-TRIQUET, c., 1974. — Etude de la décontamination d'*Arenicola marina* (Annélide Polychète) après contamination expérimentale par le caesium 137 ou le cobalt 60. *Mar. Biol.*, 26, pp. 161-165.
- RIQUET, c. et AMIARD, J.-C., 1974. — Contamination de chaînes trophiques marines par le cobalt 60. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 33, pp. 49-59.
- RIQUET, c. et AMIARD, J.-c., 1975. — Etude expérimentale du transfert du cobalt 60 entre une Annélide marine (*Arenicola marina* L.) et ses prédateurs : le crabe enragé (*Carcinus maenas* L.) et la plie (*Pleuronectes platessa* L.). *Rapport C.E.A.-R-4658*.
- BAPTIST, J.P., HOSS, D.E. et LEWIS, c.w., 1970. — Retention of ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{87}Sr , ^{93}Nb , ^{109}In and ^{131}I by the atlantic croaker (*Micropogon undulatus*). *Health Phys.*, 18, pp. 141-148.
- BERNHARD, M., 1970. — The role of Vertebrates in the uptake and loss of radio-isotopes. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 20, pp. 101-123.
- CROSSLEY, D.A., 1964. — Biological elimination of radionuclides. *Nucl. Saf.*, 5 (3), pp. 265-268.
- DUKE, T.W. et RICE, T.R., 1966. — Cycling of Nutrients in Estuaries. *Proc. Gulf and Caribbean Fish. Inst.*, 19th Annual Session, pp. 59-67.
- ÉCOLE D'ÉTÉ DE ROSCOFF, 1971. — Interactions entre cations métalliques et macromolécules biologiques, 19-24 mai 1970, Editions du C.N.R.S., Paris.
- FUKAI, R., 1968. — Distribution of cobalt in marine organisms. I.A.E.A., *Radioactivity in the sea*, 23, 19 pp.
- GETSOVA, A.B., 1960. — On the desorption of radioactive isotopes of certain representative aquatic Invertebrates. *Doklady Akad. Nauk. SSSR*, 133, pp. 459-461.
- HARRISON, F.L., 1972. — Accumulation and loss of cobalt and cesium by the marine clam. *Mya arenaria*, under laboratory and field conditions. Symp. on the interactions of radioactive contaminants with the constituents of the marine environment, Seattle, 10 July 1972. I.A.E.A., Vienna, 1972, pp. 453-478.
- KECKES, s., ozRETIC, B. et KRAJNOVIC, M., 1968. — Loss of ^{65}Zn in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Malacologia*, 7 (1), pp. 1-6.
- MAUCLINE, J., 1961. — A review of the biological significance of certain neutron induced radio-isotopes in the marine environment. U.K.A.E.A., *Production and Engineering groups*, PG Report 248 (W).
- RAVERA, o., MERLINI, M. et Musso, s., 1968. — Assunzione ed eliminazione di radio-cobalto da parte di un mollusco d'acqua dolce (*Unio mancus* var. *elongatus*). XIV^e congresso nazionale dell'associazione italiana di fisica sanitaria e protezione contro le radiazioni, Formia, 29-31 Maggio 1968. *Giornale di fisica sanitaria et protezione contro le radiazioni*, 13 (4), pp. 301-305.
- REED, J.R., 1971. — Uptake and excretion of ^{60}Co by black bullheads *Ictalurus melas* (Rafinesque). *Health Phys.*, 21 (6), pp. 835-844.
- REICHLE, DE., DUNAWAY, p.B. et NELSON, D.J., 1970. — Turn-over and concentration of radionuclides in Food Chains. *Nucl. Saf.*, 11 (1), pp. 43-54.
- ROBERTSON, D.E., FORSTER, W.O., RIECK, H.G. et LANGFORD, J.C., 1968. — A study On the trace elements and radionuclides behavior in a Northeast Pacific Ocean ecosystem 350 miles of Newport, Oregon. *BNWL-715, Part. 2*, pp. 92-108.
- RUDER BOSKOVIC INSTITUTE, 1965. — Uptake of $\text{Co}^{56, 57, 58}$, Mn^{54} and Zn^{65} by Mussels in the presence of E D T A. *Annual Report*, pp. 104-116.
- SAIKI, M., 1968. — Etudes effectuées au Japon dans le domaine de la radioécologie marine. Colloque sur la radioécologie marine, OCDE-ENEA, Cherbourg, 3-6 décembre 1968, OCDE, Paris, pp. 109-114.
- SMITH, E.L., 1962. — Cobalt. « *Mineral Metabolism* », 2B, Comar, CL., Bronner, F., ed. Academic Press, New York, pp. 349-369.
- SMITH, E.L., 1965. — Vitamin B12. Methuen and Co, ed., London, 180 pp.
- TRIQUET, C., 1973. — Etude de la contamination d'*Arenicola marina* L. (Annélide Polychète) par le cobalt-60. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 276, pp. 645-648.
- VAN WEERS, A.w., 1973. — Uptake and loss of ^{65}Zn and ^{60}Co by the mussel *Mytilus edulis*. Radioactive contamination of the marine environment, Seattle, 10-14 July 1972, Vienna, I.A.E.A., pp. 385-401.