

# Accumulation directe du cobalt 60 par la carpe (*Cyprinus carpio* L.) consécutive à une contamination expérimentale chronique ou cyclique de l'eau

C. AMIARD-TRIQUET (\*), L. FOULQUIER (\*\*)

(Manuscrit reçu le 17 novembre 1977)

## RÉSUMÉ

Quelles que soient les modalités de la contamination expérimentale (chronique ou cyclique) par le cobalt 60, la carpe atteint un maximum d'activité en 32 à 35 jours. A ce moment, le facteur de concentration est de 3. La répartition du cobalt 60 dans l'organisme est caractérisée par une accumulation préférentielle dans les reins. Il ne semble donc pas que le rythme des rejets d'effluents par l'industrie nucléaire et les variations de la radioactivité de l'eau qui en résultent, puissent modifier considérablement l'impact de la contamination sur les organismes aquatiques.

## ABSTRACT

Irrespective of the nature of experimental cobalt 60 contamination (chronic or cyclical), the activity level in the carp was highest after 32 or 35 days when the concentration factor reached 3. An analysis of cobalt 60 distribution shows preferential uptake by the kidneys. It therefore seems unlikely that the discharge rate of effluents from the nuclear industry and the resulting variations of radioactivity levels in the water significantly modify the impact of contamination on aquatic organisms.

## 1. INTRODUCTION

En tant que constituant de la vitamine B<sub>12</sub>, le cobalt remplit un rôle vital chez la plupart des espèces animales [1, 2, 3]. De plus, il participe aux systèmes enzymatiques [4].

---

(\*) Université de Nantes, Laboratoire de Biologie marine, Faculté des Sciences, 2, Chemin de la Houssinière, 44072 Nantes.

(\*\*) Commissariat à l'Énergie atomique, Institut de Protection et de Sécurité nucléaire, Département de Protection, SERE/SRE, Laboratoire d'Études de Pollution des Eaux, B.P. n° 1, 13115 Saint-Paul-lez-Durance.

La capacité d'une espèce à supporter un polluant radioactif sera limitée par sa radiosensibilité. L'effet exercé sera d'autant plus important que le radio-nucléide sera plus énergétique et sa période effective plus longue. Le cobalt 60, de période radioactive 5,27 ans, émetteur  $\beta^-$  (0,31 MeV) et  $\gamma$  (1,17 et 1,33 MeV) est un déchet important des retombées des explosions nucléaires dans l'atmosphère [5]. Il peut être également présent dans les effluents des centrales électro-nucléaires (0,05 à 5 Ci/an auxquels s'ajoutent 0,001 à 5 Ci/an de cobalt 58 [6]) et des usines de retraitement des combustibles irradiés [7]. De nombreuses mesures *in situ*, effectuées dans les zones soumises à des rejets d'effluents radioactifs, ont montré que les radiocobalts étaient susceptibles d'être accumulés par les organismes vivants [8-10].

Deux procédés de rejet des effluents liquides de faible activité ( $< 10^{-6}$  Ci/m<sup>3</sup>) sont susceptibles d'être mis en œuvre : rejet continu qui entraînerait une contamination faible et relativement constante du milieu aquatique récepteur, rejets cycliques d'une durée de quelques heures intervenant à plusieurs jours d'intervalle. Dans le second cas, la contamination du milieu récepteur serait beaucoup plus fluctuante.

Le but de notre étude est de montrer l'impact éventuel du rythme des rejets sur les organismes aquatiques en comparant l'accumulation expérimentale du cobalt 60 par un téléostéen d'eau douce, *Cyprinus carpio*, dans le cas d'une contamination continue (ou chronique) d'une part et dans celui d'une contamination discontinue (ou cyclique) d'autre part.

## 2. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

### 2.1. MATÉRIEL BIOLOGIQUE ET CONDITIONS GÉNÉRALES D'ÉLEVAGE

L'expérimentation a été réalisée sur de jeunes carpes de poids compris entre 5 et 9,3 g. Elles ont été placées dans de l'eau aérée en permanence. Elles ont été maintenues à une température de  $17 \pm 1^\circ\text{C}$  et l'alternance jour-nuit a été réalisée en lumière artificielle. Les animaux ont pu s'acclimater au milieu expérimental pendant plusieurs jours avant que celui-ci ne soit contaminé.

### 2.2. CONTAMINATION CHRONIQUE

L'expérience a porté sur dix jeunes carpes placées individuellement dans des seaux de plastique contenant 5 l d'eau et sur dix individus groupés dans un aquarium de 30 l. Le cobalt 60 a été introduit dans l'eau sous forme de chlorure en solution HCl, à raison de 4  $\mu\text{Ci/l}$  d'eau environ. La radioactivité de l'eau a été maintenue sensiblement constante tout au long de l'expérience en compensant l'évaporation par ajout d'eau bidistillée.

Pendant toute la durée de la contamination, les animaux ont été maintenus à jeûn.

### 2.3. CONTAMINATION CYCLIQUE

L'expérience a porté sur trois jeunes carpes placées individuellement dans des seaux de plastique contenant 5 l d'eau et sur dix individus groupés dans

un aquarium de 30 l. La contamination de ces milieux a été réalisée exactement dans les mêmes conditions et au même niveau d'activité que dans le cas de la contamination chronique mais, lorsque les animaux avaient séjourné pendant 24 h dans l'eau radioactive, ils étaient transférés pour 48 à 72 h dans une eau exempte de tout contaminant. Ils recevaient un peu de nourriture synthétique au début de chaque phase de décontamination.

#### 2.4. TECHNIQUES DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURES

Les prélèvements d'eau ont été réalisés 1, 2, 4 et 8 jours après le début de la contamination, puis de semaine en semaine. Les échantillons ont été filtrés à 0,45  $\mu$  et les mesures de radioactivité effectuées séparément sur les formes particulaires et sur les formes solubles.

Ces mesures ont été effectuées sur les carpes *in toto* après 1, 2, 4, 8, 16, 24 et 32 jours, puis de semaine en semaine dans le cas de la contamination chronique. Dans le cas de la contamination cyclique, des mesures étaient effectuées chaque fois que les animaux étaient transférés du milieu inactif au milieu actif ou inversement. A la fin des expériences, les animaux ont été sacrifiés et on a séparé neuf organes. Pour l'expérience de contamination cyclique, une série de dissections a été effectuée à la fin de la phase de contamination, une autre à la fin de la phase de décontamination. Le poids des échantillons a été déterminé sur les animaux vivants pour les mesures *in toto* et sur les organes frais.

Les différentes mesures de radioactivité ont été effectuées en spectrométrie  $\gamma$  et il a été tenu compte du rendement des systèmes de détection et du rendement lié à la géométrie des échantillons.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. CINÉTIQUE D'ACCUMULATION DU COBALT 60

Les différentes manipulations ont mis en service treize seaux et deux aquariums. La contamination initiale de l'eau n'a pas été absolument identique

TABLEAU  
CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU CONTAMINANT DANS LES DIVERS TYPES D'EXPÉRIENCES

Type de l'expérience	Type de récipient	Activité spécifique moyenne de l'eau ( $\mu$ Ci/l)	Écart-type à la moyenne	Pourcentage des formes solubles
Contamination chronique	Seaux individuels	4,21	0,08	97,61
	Aquarium	3,40	0,09	92,01
Contamination cyclique	Seaux individuels	4,25	0,09	97,01
	Aquarium	3,33	0,09	90,09

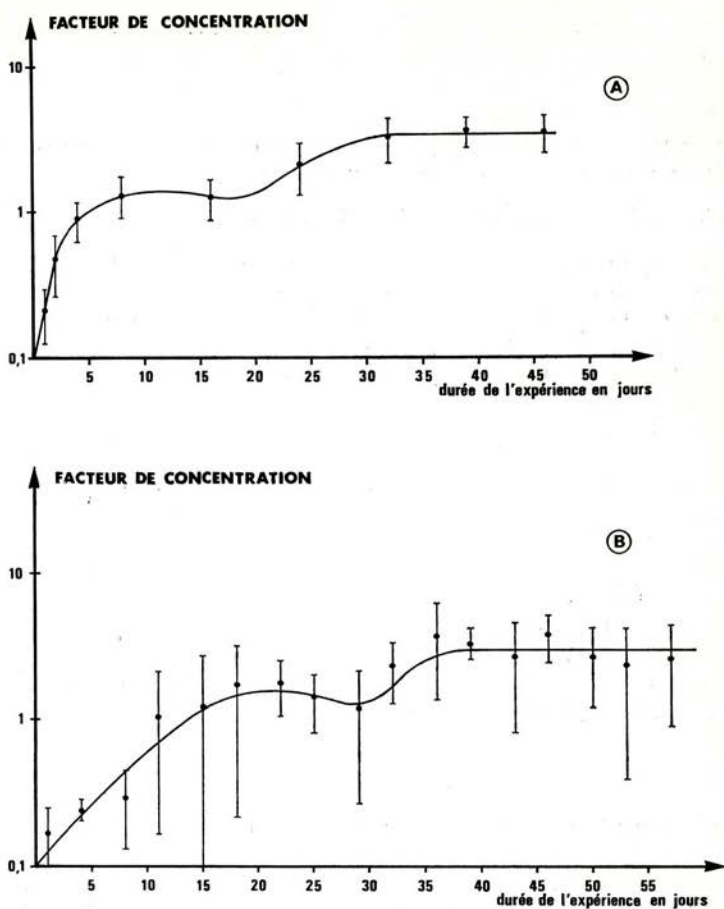


FIG. 1. — Cinétique de l'accumulation du cobalt 60 par *Cyprinus carpio*. A, contamination chronique; B, contamination cyclique : fin des phases de contamination (les facteurs de concentration moyens sont affectés de l'intervalle de confiance à 95 p. cent).

dans tous ces récipients et il en a été de même pour les réajustements du niveau d'activité au cours de l'expérience. Ceci explique les variations observées pour la radioactivité moyenne de l'eau dans les divers milieux expérimentaux (tableau). De plus, le cobalt introduit dans l'eau sous forme soluble a semble-t-il, évolué différemment dans les seaux où le pourcentage des formes solubles reste plus important que dans les aquariums.

Afin de minimiser l'impact de ces différences sur l'expression des résultats nous rapporterons les données obtenues en facteurs de concentration :

$$F.C. = \frac{\text{Activité de 1 g d'organisme frais}}{\text{Activité de 1 ml d'eau filtrée}}$$

### 3.1.1. Contamination chronique

L'évolution de l'accumulation du cobalt 60 par *Cyprinus carpio* est représentée graphiquement (fig. 1 A) pour les carpes isolées. Le facteur de concentration augmente d'abord rapidement et atteint un premier palier entre le huitième et le seizième jour de contact avec l'eau contaminée. L'activité des poissons augmente ensuite à nouveau puis se stabilise vers le trente-deuxième jour. Le facteur de concentration moyen à la fin de l'expérience est de 3,39 (intervalle de confiance à 95 p. cent : 2,43 à 4,35). L'activité des carpillons groupés dans un seul aquarium est plus forte au début de l'expérience que celle des carpillons isolés, mais, à l'équilibre, le facteur de concentration moyen est de 2,65 (intervalle de confiance à 95 p. cent : 1,74 à 3,51). A ce moment, le test *t* de Student n'indique pas de différence significative en fonction du mode d'élevage et, sur l'ensemble des animaux d'expérience, le facteur de concentration moyen à l'équilibre est de 3,08 (intervalle de confiance 95 p. cent : 2,42 à 3,74).

### 3.1.2. Contamination cyclique

La figure 2 représente l'évolution de la contamination des trois carpes isolées pendant les 42 premiers jours de l'étude (la taille de l'échantillon

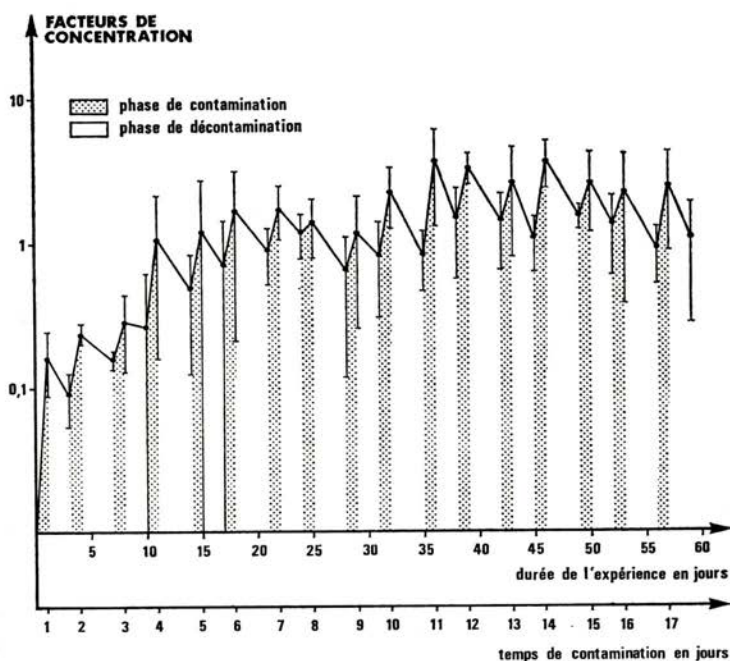


FIG. 2. — Évolution de la radioactivité de *Cyprinus carpio* au cours de la contamination cyclique (les facteurs de concentration moyens sont affectés de l'intervalle de confiance à 95 p. cent).

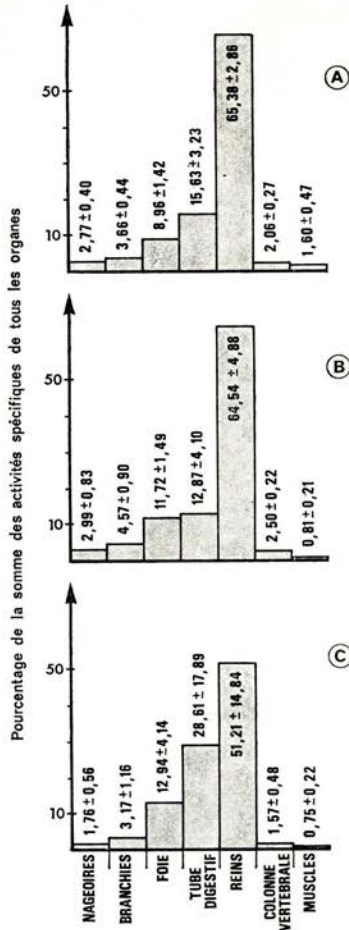


FIG. 3. — Organotropisme du cobalt 60 chez *Cyprinus carpio*. A, contamination chronique; B, contamination cyclique, fin de phase de contamination; C, contamination cyclique, fin de phase de décontamination (les pourcentages moyens pour chaque organe sont affectés de l'écart-type à la moyenne).

explique l'importance des intervalles de confiance). Pour les temps plus longs, le test *t* de Student n'indique pas de différence significative de l'activité spécifique des carpes en fonction du mode d'élevage (carpes isolées ou groupées), et la totalité des animaux d'expérience est donc prise en considération. Si, dans un premier temps, on fait abstraction des points correspondant à la fin des phases de décontamination (fig. 1 B), on s'aperçoit que l'accumulation du cobalt 60 atteint un premier palier entre le 18<sup>e</sup> et le 25<sup>e</sup> jour de l'expérience, ce qui correspond à 6 à 8 jours d'immersion des carpes dans l'eau contaminée.

L'état d'équilibre est ensuite atteint vers le 35<sup>e</sup> jour de l'expérience (c'est-à-dire le 11<sup>e</sup> jour de contamination proprement dite). A la fin de la dernière phase de contamination, le facteur de concentration est de 2,99 (intervalle de confiance à 95 p. cent : 1,01 à 4,97). Pendant les phases de décontamination qui durent de 48 à 72 h, ce sont 30 à 64 p. cent (moyenne : 51 p. cent) du cobalt 60 présent dans l'organisme qui sont éliminés.

### 3.2. ORGANOTROPISME DU COBALT 60

L'activité de chaque organe a été exprimée en pourcentage de la somme des activités ( $nCi.g^{-1}$ ) de tous les organes. Pour chaque série de dissection (contamination chronique, contamination cyclique en fin de phase de contamination ou en fin de phase de décontamination), les cœurs et les peaux provenant des différents spécimens biologiques ont été regroupés dans un même tube de comptage. Malgré cette précaution, l'activité de la peau et du cœur étant très faible et ces organes représentant des quantités pondérales minimales, l'incertitude sur les mesures était très importante. Le cœur et la peau ont donc été éliminés des calculs en pourcentage.

Signalons cependant que l'activité spécifique de la peau était du même ordre de grandeur que celle des autres organes externes, nageoires et branchies. Celle du cœur était du même ordre de grandeur ou un peu supérieure à celle des muscles abdominaux.

Les résultats des différents types de contamination ont été comparés deux à deux à l'aide du test *t* de Student pour chacun des sept organes retenus. Cette étude statistique ne révèle aucune différence dans la répartition du cobalt 60 en fonction du mode de contamination. Les reins sont toujours les organes les plus contaminés (*fig. 3*) suivis du tube digestif et du foie. Puis, viennent les organes externes qui représentent toujours moins de 5 p. cent de la radioactivité, enfin la colonne vertébrale (1,57 à 2,50 p. cent selon les expériences) et les muscles (0,75 à 1,60 p. cent).

## 4. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Nos résultats sur l'évolution de la radioactivité des carpes sont à rapprocher de ceux de FRAIZIER et ANCELLIN [11]. Ces auteurs observent que les courbes représentatives de la cinétique de contamination des plies (*Pleuronectes platessa*) présentent des inflexions plus ou moins marquées qu'ils tentent d'expliquer par l'intervention de « processus complexes d'absorption, de transfert et d'élimination au niveau de certains organes tels que les branchies, les reins et l'intestin ». HIYAMA et MATSUBARA KHAN [12] observent un phénomène du même ordre pour la contamination de la crevette *Leander pacificus* par le cobalt 60.

L'accumulation expérimentale du cobalt 60 par la carpe *Cyprinus carpio* est relativement faible, les facteurs de concentration à l'équilibre pour ce radio-nucléide étant voisins de 3. Pour un autre *Cyprinidé* le vairon *Phoxinus laevis* contaminé par le cobalt 60 dans des conditions expérimentales voisines des

nôtres pendant 16 jours, les auteurs n'ont pas observé l'établissement de l'état d'équilibre, et le facteur de concentration a atteint au maximum 2,66 [13].

La valeur du facteur de concentration du cobalt 60 que nous avons établie expérimentalement est un peu inférieure à celles trouvées *in situ* pour *Cyprinus carpio* adulte : 6,4 dans White Oak Lake [9], 10 dans la Clinch River [10, 14, 15]. Chez les poissons soumis aux effluents de la centrale de Garigliano (Italie), ANTONELLI *et al.* [8] déterminent un facteur de concentration de 4 pour le cobalt 58.

L'organotropisme du cobalt 60 chez *Cyprinus carpio* est caractérisé par une accumulation beaucoup plus importante dans le rein que dans tous les autres organes. De même, les mesures effectuées sur un poisson-chat (*Ictalurus melas*), provenant du lac de White Oak, montrent que 28,99 p. cent de la radioactivité totale du poisson se retrouvent dans le rein, cet organe constituant également un lieu de stockage du cobalt stable [16]. La contamination expérimentale de *Phoxinus laevis*, pendant 16 jours, aboutit à une concentration supérieure à 40 nCi/g pour le rein alors que l'activité spécifique de la peau dépasse un peu 20 nCi/g et que celle de tous les autres organes est inférieure à 20 [13]. Chez la perche-soleil (*Lepomis gibbosus*) et le poisson rouge (*Carassius auratus*), les reins et le foie sont les organes les plus contaminés par le cobalt 58 [15, 16]. L'accumulation préférentielle du cobalt par le rein et le foie a également été mise en évidence chez une espèce marine, *Pleuronectes platessa* [11]. Chez la plupart des espèces animales, y compris les mammifères, foie (ou glande digestive) et reins sont les principaux organes de stockage du cobalt [1-3, 11, 19, 20, 21].

Quelles que soient les modalités de la contamination expérimentale, l'accumulation du cobalt 60 par *Cyprinus carpio* présente des caractéristiques voisines : elle passe par deux paliers successifs dont le second, correspondant à l'état d'équilibre, est atteint en 32 à 35 jours. A ce moment, l'activité spécifique des jeunes carpes est environ trois fois plus élevée que celle de l'eau dans laquelle elles ont été immergées. Quant à la répartition du cobalt 60 dans l'organisme, elle reste très constante quel que soit le mode de contamination et se caractérise par une accumulation préférentielle dans les reins.

Si l'on tente de transposer ces résultats aux conséquences des rejets d'effluents par l'industrie nucléaire, il ne semble donc pas que le rythme des rejets et les variations de la radioactivité de l'eau qui en résultent puissent modifier considérablement l'impact de la contamination sur les organismes aquatiques.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] SMITH E. L. Cobalt. In : *Mineral metabolism* (Comar C.L. and Bronner F., Eds) New York, Academic Press, 1962, **2B**, 349-369.
- [2] SMITH E. L. *Vitamin B<sub>12</sub>*, London, Methuen, 1965.
- [3] UNDERWOOD E. J. *Trace elements in human and animal nutrition*. New York, Academic Press, 1971, 141-169.
- [4] PTAK M. Généralités sur les interactions entre les ions métalliques et les macromolécules biologiques. *École d'Été de Roscoff*, 19-24 mai 1970. Paris, Éditions du C.N.R.S., 1971, 47-75

- [5] AMIARD-TRIQUET C., AMIARD J. C. La pollution radioactive du milieu aquatique et ses conséquences écologiques. *Bull. Écol.*, 1976, 7, 3-32.
- [6] FUKAI R., MURRAY C. N. Environmental behaviour of radiocobalt and radiosilver released from nuclear power stations into aquatic systems. In : *Environmental behaviour of radionuclides released in the nuclear industry*, Aix-en-Provence, 14-18 May 1973, Vienne, A.I.E.A., 1974, 217-242.
- [7] SCHEIDHAUER J., AUSSET R., PLANET J., COULON R. Programme de surveillance de l'environnement marin du Centre de La Hague. In : *Population dose evaluation and standards for man and his environment*, Portoroz, 20-24 May 1974. Vienne, A.I.E.A., 1974, 347-366.
- [8] ANTONELLI A., CASTALDO M., CIGNA ROSSI L., LANERI U., PAGNOTTA R. Determinazione di fattori di concentrazione in componenti abiotici e biologici del fiume Garigliano. In : *La Radioécologie appliquée à la protection de l'homme et de son environnement*, Rome, 7-10 septembre 1971 (EUR 4800 d-f-i-e). Luxembourg, Communautés européennes, 1972, 1305-1320.
- [9] KEVERN N. R., GRIFFITH N. A. Effect of trophic level on radionuclide accumulation by fish. U.S. report ORNL-4007, 1966, 88.
- [10] MORTON R. J. Status Report n° 5 on Clinch River Study. U.S. report ORNL-3721, 1965.
- [11] FRAIZIER A., ANCELLIN J. Observations sur la contamination expérimentale de trois espèces de poissons marins : *Pleuronectes platessa*, *Callionymus lyra* et *Trachinus vipera* par le caesium 137 et le cobalt 60. In : *La Radioécologie appliquée à la protection de l'homme et de son environnement*, Rome, 7-10 septembre 1971 (EUR-4800 d-f-i-e) Luxembourg, Communautés européennes, 1972, 1277-1304.
- [12] HIYAMA Y., MATSUBARA KHAN J. On the concentration factors of radioactive I, Co, Fe and Ru in marine organisms. *Rec. Oceanogr. Works in Japan*, 1964, 7, 79-105.
- [13] NICOLAS C., KIRCHMANN R. Contamination of freshwater fish by <sup>54</sup>Mn and <sup>60</sup>Co. Rapport EUR-5167 e, 1974.
- [14] CHURCHILL M. A., CRAGWALL J. S., ANDREW R. W., JONES S. L. Concentrations, total stream loads and mass transport of radionuclides in the Clinch and Tennessee Rivers. U.S. report ORNL-3721, Suppl. 1, 1965.
- [15] VANDERPLOEG H. A., PARZYCK D. C., WILCOX W. H., KERCHER J. R., KAYE S. V. Bioaccumulation factors for radionuclides in fresh-water biota. U.S. report ORNL-5002, 1975.
- [16] REED J. R. Uptake and excretion of <sup>60</sup>Co by black bullheads *Ictalurus melas* (Rafinesque). *Health Phys.*, 1971, 21, 835-844.
- [17] MERLINI M., BITTEL R. The uptake, loss and distribution of radiocobalt in a freshwater fish, *Lepomis gibbosus* L. In : *Symposium intern. de Radioécologie*, Cadarache, 8-12 septembre 1969. Cadarache, CEA, Département de Protection, 1969, 399-412.
- [18] BITTEL R., MERLINI M., MYTTENAERE C., RAVERA O. Étude des paramètres du transfert du radiocobalt dans les écosystèmes continentaux aquatiques et irrigués. Rapport CEA-R 4157, EUR-4628 f, 1971.
- [19] FOLSOM T. R., YOUNG D. R. Silver 110m and cobalt 60 in oceanic and coastal organisms. *Nature*, 1965, 206, 803-806.
- [20] AMIARD-TRIQUET C., AMIARD J. C. L'organotropisme du cobalt 60 chez *Scrobicularia plana* et *Carcinus maenas* en fonction du vecteur de contamination. *Oikos*, 1976, 27, 122-126.
- [21] AMIARD J. C. Assimilation, excretion and distribution of cobalt 60 in the rat after daily ingestion of contaminated marine food products. *Health Phys.*, 1976, 31, 371-373.