note technique

Radioécologie du Tage, 1981-1989

M.C.V. CARREIRO, A.O. BETTENCOURT, M.M.A. SEQUEIRA*

(Manuscrit reçu le 3 août 1990)

RÉSUMÉ

La surveillance de la radioactivité d'origine naturelle et artificielle du Tage est effectuée depuis 1975 ; en effet, bien qu'il n'y ait pas d'installations nucléaires dans le secteur portugais du fleuve, il faut tenir compte de celles qui existent en amont, en Espagne. Une étude radioécologique du fleuve a également été conduite (Contrat (CCE) n° BI6-B-198-P) entre la mi 1986 et 1989. Un bref exposé des principales caractéristiques de l'eau, des sédiments et du matériel biologique (hydrophytes et poissons) est présenté et les données sur la radioactivité artificielle concernant les années 1981 à 1989 sont analysées.

Une hausse de la radioactivité artificielle a été détectée en 1987 et en 1989 dans l'eau ainsi que dans les sédiments, les hydrophytes et les poissons en 1988 ; les raisons de cette augmentation sont discutées. Les sédiments semblent constituer le compartiment préférentiel de rétention du ^{137}Cs .

SUMMARY

The survey of the natural and artificial radioactivity of the Tejo river has been carried out since 1975 ; although there are no nuclear power plants in the Portuguese sector of the river, they do exist upstream, in Spain. A radioecological study of the river was also accomplished between the middle of 1986 and the end of 1989 (contract (CEC) BI6-B-198-P). A brief outline of the main characteristics of the river water, sediments, and biological material, is given in the present paper and the data on the artificial radioactivity survey from 1981 to 1989 are analysed.

An increase of the radioactivity in water was detected during the years 1987 and 1989 and in sediments, hydrophytes and fish during 1988 ; an attempt of explanation is done. Data appear to confirm that sediments are the best compartment to detect ^{137}Cs contamination in the river.

1. INTRODUCTION

Plusieurs centrales nucléaires sont installées dans la partie espagnole du bassin hydrographique du Tage. Un programme régulier de surveillance radiologique a donc été établi, et est en cours depuis 1975,

* Laboratório nacional de engenharia e tecnologia industrial (LNETI), Departamento de protecção e segurança radiológica, Estrada nacional n° 10, P-2685 Sacavem, Portugal.

dans le secteur portugais. La centrale nucléaire la plus proche de la frontière est celle d'Almaraz, dont le premier groupe a démarré en 1981. Les données sur le contrôle radiologique concernant l'eau, les sédiments, les poissons et les plantes aquatiques ont été publiées par Carreiro *et al.* et par Sequeira *et al.* [1-7, 14-17]. Une étude plus approfondie sur la radioécologie du fleuve a été conduite dès le second semestre de 1986, jusqu'à la fin de 1989 dans le cadre du Contrat CEE B16-B-198-P.

L'objectif du présent document est de faire un bilan des données concernant les années 1981 à 1989, en tenant compte des caractéristiques de l'écosystème permettant de mettre en évidence des voies de transport ou des maillons préférentiels de rétention des radioéléments.

2. CARACTÉRISTIQUES DU TAGE

2.1. Caractéristiques générales

Le Tage prend sa source en Espagne. De ses 1 100 km de longueur, seulement 230 km parcourent le territoire portugais, et 43 km servent de frontière entre les deux pays. Son bassin hydrographique couvre une surface de $8,1 \cdot 10^4 \text{ km}^2$, dont $2,5 \cdot 10^4 \text{ km}^2$ sur le territoire portugais. Le débit moyen annuel du fleuve est de $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, avec des valeurs extrêmes de 90 et $1\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Le barrage hydroélectrique le plus important est celui de Cedillo, en Espagne, près de la frontière. Au Portugal, il y a les barrages de Fratel et Belver, dans lesquelles on ne fait pas de décharges de sédiments. En amont, sont situées trois centrales nucléaires, espagnoles : Trillo ($2 \times 900 \text{ MW}$) et Jose Cabrera (150 MW), toutes les deux au NE de Madrid, et Almaraz ($2 \times 900 \text{ MW}$) à environ 120 km de la frontière. Le centre d'études nucléaires de Madrid rejette également dans un affluent du Tage (fig. 1). A Vila Velha de Rodão, une usine à papier déverse ses effluents dans le fleuve.

Les stations de prélèvement sont : Vila Velha de Rodão, (ci-après nommée Rodão), qui est le premier village en territoire portugais ; la lagune du barrage de Fratel quelques kilomètres en aval de la première ; Vila Nova da Barquinha juste après la confluence de l'affluent Zézere, qui est également un fleuve à grand débit d'eau et Valada do Ribatejo (Valada) où il y a une prise d'eau destinée à la consommation de la ville de Lisbonne (fig. 1).

2.2. Caractérisation chimique

Le tableau I montre surtout la variabilité de la concentration des principaux ions dans l'eau du fleuve aux trois stations de prélèvement, pendant trois ans. La concentration du K^+ , est plus élevée que celles généralement rapportées pour les eaux douces [4, 9-10, 13]. Cela peut

entraîner une compétition chimique en ce qui concerne ^{137}Cs . En général, on peut dire que les valeurs des principaux cations et anions sont toutes un peu plus élevées que la moyenne des fleuves européens [18].

Fig. 1. – Carte du Portugal et de l'Espagne, montrant respectivement les trois stations de prélèvement sur le Tage dans le secteur portugais et les centrales nucléaires espagnoles en amont.

Les valeurs de P et N total sont également élevées, ce qui avait également déjà été observé en 1977 par Oliveira [11], bien qu'ils ne soient importants qu'en ce qui concerne le phytoplancton. Sur le tableau II, on peut remarquer que les concentrations de SiO_2 dans les sédiments sont très élevées et qu'elles augmentent de Fratel en aval, contrairement aux valeurs de Al_2O_3 qui diminuent, ce qui peut signifier que les sédiments de Fratel peuvent présenter une plus grande affinité pour certains radioéléments, bien que les différences ne soient pas très accentuées.

TABLEAU I
Caractérisation de l'eau du Tage (mg l⁻¹)
(1987-1989)

Composition chimique	Stations de prélèvements		
	Fratel	Barquinha	Valada
Ca ²⁺	44,0 (25-67)	33,0 (10-56)	39,6 (18-58)
Mg ²⁺	12,0 (7,9-22)	11,6 (5,4-36)	9,2 (6,2-22)
Na ⁺	20,3 (9,3-27)	15,0 (7,7-24)	18,2 (7,8-24)
K ⁺	2,7 (0,9-6,5)	2,4 (0,6-5,5)	2,9 (0,8-6,5)
NH ₄ ⁺	0,299 (0,034-0,772)	0,321 (0,033-1,06)	0,336 (0,031-1,12)
Cl ⁻	28,8 (11-48)	31,2 (14-67)	30,3 (22-53)
SO ₄ ²⁻	58,8 (25-97)	57,8 (34-88)	60,5 (37-90)
NO ₃ ⁻	1,05 (0,272-2,46)	0,819 (0,403-1,60)	0,990 (0,287-2,54)
NO ₂ ⁻	0,003 (0,002-0,014)	0,003 (0,002-0,007)	0,005 (0,002-0,014)
Fe Total	0,116 (0,029-0,340)	0,105 (0,023-0,311)	0,176 (0,085-0,352)
P Total	0,564 (0,380-0,950)	0,482 (0,160-1,64)	0,410 (0,080-0,750)
N Total	3,31 (0,921-12,3)	2,44 (0,937-9,5)	2,48 (0,759-11,8)
Dureté Totale (ml.l ⁻¹)	133 (56-238)	155 (108-206)	139 (102-238)
pH	7,8 (6,9-8,8)	7,9 (7,0-9,3)	8,1 (7,4-9,0)

Les valeurs présentées sont des moyennes géométriques (variation des valeurs entre parenthèses).

TABLEAU II
Caractérisation des sédiments du Tage (g.kg⁻¹)
(1987-1989)

Composition chimique	Stations de prélèvements		
	Fratel	Barquinha	Valada
CaCO ₃	17,5 (4,0-40)	21,9 (7,0-60)	18,2 (4,0-41)
SiO ₂	705 (640-780)	812 (710-870)	845 (830-880)
Al ₂ O ₃	107 (94-142)	74 (63-89)	68 (59-74)
Fe ₂ O ₃ Total	19 (15-24)	9,8 (7,2-16)	6,37 (5,8-7,4)
MnO ₂	0,15 (0,057-0,27)	0,14 (0,11-0,25)	0,089 (0,05-0,13)
P ₂ O ₅	1,53 (0,83-20,2)	0,79 (0,42-1,39)	0,68 (0,41-1,10)
Ca ²⁺	2,02 (0,80-6,50)	2,34 (1,34-4,46)	2,52 (0,62-6,28)
Mg ²⁺	0,47 (0,20-0,68)	0,41 (0,20-0,88)	0,30 (0,20-0,56)
K ⁺	0,42 (0,26-0,64)	0,56 (0,20-1,75)	0,18 (0,096-0,384)
Na ⁺	0,14 (0,018-0,58)	0,15 (0,015-0,78)	0,10 (0,007-0,58)
Fe total	1,76 (0,47-5,45)	1,09 (0,56-3,94)	0,72 (0,34-2,18)

Les valeurs présentées sont des moyennes géométriques (variation des valeurs entre parenthèses)

En ce qui concerne les hydrophytes (tableau III), les concentrations des principaux ions sont très semblables entre les espèces *Potamogetum* et *Myriophyllum*, sauf, peut-être, en ce qui concerne K⁺.

Le tableau IV, groupant les poissons par familles, montre qu'il n'y a pas de grosses différences dans la composition chimique, sauf pour Ca²⁺, lequel présente des valeurs plus élevées chez les *Mugilidae*, ce qui est probablement dû au fait que ces poissons ont une tête osseuse plus forte.

TABLEAU III
Caractérisation chimique des hydrophytes du Tage (1987-1989)

Espèces	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ g.kg ⁻¹ (sec)	Na ⁺	Fe Total	Cs ⁺ ppm (sec)
<i>Potamogetum</i> sp.	15,5 (7,0-36)	2,12 (0,76-5,7)	7,67 (1,65-34)	2,33 (0,58-10,6)	2,02 (0,95-5,4)	0,56 ± 0,23
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	13,3 (6,1-47)	2,38 (1,08-5,2)	4,74 (1,51-34)	1,58 (0,52-7,0)	2,05 (1,41-3,8)*	0,66 ± 0,27

Les valeurs sont des moyennes géométriques (variation des valeurs entre parenthèses).

M.C.V. CARREIRO

TABLEAU IV
Caractérisation chimique des poissons du Tage (1987-1989)

Familles de poissons	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ g.kg ⁻¹ (frais)	Na ⁺	Fe Total	Cs ⁺ ppm (frais)
<i>Cyprinidae</i>	16,0 (7,4-42)	0,519 (0,226-1,61)	1,32 (0,288-3,53)	0,365 (0,068-2,72)	0,036 (0,014-0,214)	1,1 E-2 (3,4 E-3-6, 2 E-2)
<i>Mugilidae</i>	23,8 (13-35)	0,487 (0,302-0,985)	1,84 (0,675-3,45)	0,466 (0,231-1,59)	0,075 (0,033-0,217)	3,4 E-2*

Les valeurs sont des moyennes géométriques (variation des valeurs entre parenthèses).
* une seule valeur.

3. MÉTHODES

Des échantillons d'eau, de sédiments, de macrophytes aquatiques et de poissons ont été régulièrement prélevés à Rodão, Gavião, Barquinha et Valada, de 1981 à 1986. A partir de 1987, la lagune du barrage de Fratel a également été étudiée en détail.

L'eau, après filtration à $0,45\ \mu\text{m}$, est soumise à une analyse radiochimique conventionnelle pour le strontium et pour le césium. La radioactivité est mesurée par comptage bêta, dans un système à bas bruit de fond. Dans le cas de ^{90}Sr , on mesure ^{90}Y à l'équilibre [4]. Pour la mesure de ^3H , les échantillons sont enrichis isotopiquement par électrolyse et la radioactivité est mesurée par scintillation liquide.

Les sédiments et les macrophytes séchés, ainsi que les cendres des poissons, sont mesurés par spectrométrie gamma directe sur détecteur au Ge. Des échantillons du sédiment total aussi bien que de la fraction de granulométrie inférieure à $212\ \mu\text{m}$ sont analysés. En ce qui concerne les poissons, seul le muscle était considéré jusqu'en 1986 ; de 1987 à 1989 le poisson entier a été analysé.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. Eau

Les concentrations de ^{137}Cs dans l'eau, à Rodão, décroissent régulièrement de 1981 à octobre 1986 ; cependant, en novembre, elles sont passées d'environ 2 à $13\ \text{mBq.l}^{-1}$, et des concentrations également élevées ont été observées en 1987, surtout pendant les six premiers mois, sur toutes les stations de prélèvement (tableau V). En 1988 et 1989, ces concentrations retombent aux niveaux précédents (fig. 2).

Le ^{90}Sr ne subit presque pas de variations pendant cette période (tableau V). La valeur du rapport $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ dans l'eau du fleuve (à Rodão), due aux retombées des explosions nucléaires qui était de 1,36, variant entre 1,06 et 1,82 [4] est donc maintenant complètement changée.

La concentration de ^3H dans l'eau diminue de 1977 à 1981. Les explosions nucléaires de 1976 et 1977 expliquent cette évolution [4, 8]. A partir de 1981, année du démarrage de la centrale nucléaire d'Almaraz, elle augmente légèrement jusqu'en 1986 (fig. 3). En 1987, on observe une augmentation significative des concentrations de ^3H sur toutes les stations de prélèvement. Elles diminuent ensuite en 1988 jusqu'aux niveaux précédents [4], mais, en 1989, il y a un nouvel accroissement, encore plus remarquable (fig. 2 et tableau V).

Fig. 2. – Evolution de l'activité de ^{137}Cs et de ^3H dans l'eau à Vila Velha de Rodão de 1981 à 1989

TABLEAU V
Concentrations moyennes annuelles
des radioéléments artificiels dans l'eau du Tage

Année	Localisation	Matière dissoute (0,45 μm)		
		^{137}Cs mBq.l $^{-1}$	^{90}Sr mBq.l $^{-1}$	^3H Bq.l $^{-1}$
1986	Rodão	1,4 $\pm$ 0,5	2,1 $\pm$ 0,7	2,3 $\pm$ 0,2
	Rodão	9,0 $\pm$ 4,9	2,9 $\pm$ 0,7	7,0 $\pm$ 2,2
1987	Fratel	6,3 $\pm$ 2,1	2,4 $\pm$ 0,6	8,5 $\pm$ 2,6
	Barquinha	9,3 $\pm$ 4,9	3,2 $\pm$ 1,9	4,5 $\pm$ 0,6
	Valada	5,6 $\pm$ 5,1	2,9 $\pm$ 1,4	5,1 $\pm$ 3,6
1988	Rodão	1,7 $\pm$ 0,4	1,4 $\pm$ 0,3	2,1 $\pm$ 0,3
	Fratel	1,4 $\pm$ 0,4	2,8 $\pm$ 0,5	2,3 $\pm$ 0,3
	Barquinha	1,3 $\pm$ 0,3	3,0 $\pm$ 1,0	1,5 $\pm$ 0,2
	Valada	0,9 $\pm$ 0,3	1,8 $\pm$ 0,9	1,1 $\pm$ 0,1
1989	Rodão	1,5 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,2	14 $\pm$ 3
	Fratel	1,5 $\pm$ 0,7	1,5 $\pm$ 0,3	13 $\pm$ 1
	Barquinha	2,3 $\pm$ 0,4	1,7 $\pm$ 0,2	11 $\pm$ 3
	Valada	1,0 $\pm$ 0,2	1,4 $\pm$ 0,3	10 $\pm$ 3

(Moyenne géométrique $\pm$ écart supérieur)

Les concentrations de ^{137}Cs , ^{90}Sr et ^3H dans l'eau de pluie ne présentent presque pas de variations de 1987 à 1989, comme on peut l'observer sur le tableau VI où sont présentées les moyennes annuelles.

TABLEAU VI
Concentrations moyennes annuelles
des radioéléments artificiels dans l'eau de pluie à Fratel

Année	Matière dissoute (0,45 μm)		
	^{137}Cs mBq.l^{-1}	^{90}Sr mBq.l^{-1}	^3H Bq.l^{-1}
1987	$1,75 \pm 1,66$	$0,62 \pm 0,47$	$0,82 \pm 0,16$
1987	$1,15 \pm 0,25$	$1,11 \pm 0,20$	$1,07 \pm 0,08$
1988	$1,69 \pm 0,36$	$0,86 \pm 0,19$	$0,97 \pm 0,27$

(Moyenne géométrique $\pm$ écart supérieur)

Fig. 3. – Evolution de la concentration de ^3H dans l'eau à Vila Velha de Rodão de 1977 à 1989

4.2 Sédiments

Les concentrations de ^{137}Cs dans les sédiments totaux se maintiennent presque constantes de 1981 à 1989, sauf pour l'année 1988, où il y a une hausse nette (fig. 4) concernant surtout une plus grande abondance de valeurs significatives (supérieures aux limites de détection). Cette augmentation des concentrations de ^{137}Cs dans les sédiments est, d'ailleurs, plus facilement observable si l'on compare l'évolution des résultats concernant la fraction plus fine ($< 212 \mu\text{m}$) et si l'on normalise ces concentrations par rapport à Al_2O_3 (tableau VII). Il est évident que cette augmentation provient de celle qui a été observée pour l'eau en 1987.

Sur le tableau VI, on peut observer une décroissance de la concentration en ^{137}Cs de Fratel jusqu'à Valada, en 1988. Celle-ci peut être expliquée par une dilution de ^{137}Cs tout au long du fleuve ; cependant, en 1987, et même en 1989, cette diminution ne pourra probablement s'expliquer que par le rapport inverse entre la constitution des sédiments en SiO_2 et Al_2O_3 , respectivement croissant et décroissant, de Fratel jusqu'à Valada (tableau II).

TABLEAU VII
Concentrations moyennes annuelles
de ^{137}Cs dans les sédiments du Tage

Année	Localisation	^{137}Cs Bq.kg^{-1} (sec)		$^{137}\text{Cs}/\text{Al}_2\text{O}_3$ Bq.kg^{-1} (sec)	
		sédiment total	Fraction < 212 μm	sédiment total	Fraction < 212 μm
1987	Rodão	$2,7 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,6$	0,030	0,034
	Fratel	$4,0 \pm 2,2$	$4,8 \pm 3,1$	0,038	0,045
	Barquinha	≤ 2	$2,8 \pm 1,2$	—	—
	Valada	≤ 2	$2,9 \pm 1,2$	—	—
1988	Rodão	$3,8 \pm 0,6$	$7,6 \pm 1,5$	0,042	0,083
	Fratel	$5,4 \pm 2,5$	$7,2 \pm 4,7$	0,056	0,075
	Barquinha	≤ 2	$5,5 \pm 4,7$	—	0,073
	Valada	$2,4 \pm 0,6$	$3,7 \pm 3,1$	0,039	0,060
1989	Rodão	$5,4 \pm 1,1$	$5,2 \pm 0,9$	0,059	0,057
	Fratel	$3,3 \pm 1,5$	$6,0 \pm 2,8$	0,033	0,059
	Barquinha	$1,8 \pm 0,2$	$2,6 \pm 0,9$	0,025	0,036
	Valada	$1,5 \pm 0,3$	$2,6 \pm 1,7$	0,023	0,040

(Moyenne géométrique $\pm$ écart supérieur)

4.3 Hydrophytes et poissons

Les faibles différences mentionnées entre la constitution chimique des deux espèces d'hydrophytes et entre les deux familles de poissons, concernant surtout respectivement K^+ et Ca^{2+} , ne semblent pas influencer les concentrations de ^{137}Cs .

Les concentrations de ^{137}Cs dans les plantes aquatiques (tableau VIII) sont d'habitude très faibles, au niveau des limites de détection (fig. 5). En 1988, une légère augmentation a été remarquée, laquelle se traduit surtout par une plus grande étendue de valeurs significatives, ce que l'on attribue également à l'influence de l'eau.

Les concentrations de ^{137}Cs dans les poissons sont variables, mais elles se situent presque toujours en dessous de $0,10 \text{ Bq.kg}^{-1}$ (frais), exception faite pour 1988 (tableau VIII). Cependant, il faut noter que jusqu'à 1986, le ^{137}Cs était mesuré sur le muscle et que, dans les trois dernières années, il l'a été sur le poisson entier (fig. 6). On pourrait donc conclure que, si la détermination de ^{137}Cs avait été faite seulement sur le muscle, les valeurs deviendraient encore un peu plus élevées, ce qui confirme l'augmentation des concentrations observées pour les autres types d'échantillons.

TABLEAU VIII
Concentrations moyennes annuelles
de ^{137}Cs dans les poissons et les hydrophytes du Tage

Année	Localisation	Poissons Bq.kg^{-1} (frais)	Hydrophytes Bq.kg^{-1} (sec)	
		^{137}Cs	^{137}Cs	7Be
1987	Rodão	$0,06 \pm 0,02$	$2,0 \pm 0,5$	—
	Fratel	$\leq 0,05^*$	$1,7 \pm 0,2$	36 ± 18
	Barquinha	$0,07 \pm 0,03$	$1,5 \pm 0,5$	$94 \pm 14^*$
	Valada	$\leq 0,05^*$	—	—
1988	Rodão	$0,16 \pm 0,08$	$4,6 \pm 0,9$	126 ± 40
	Fratel	$0,12 \pm 0,07$	$1,8 \pm 0,5$	24 ± 8
	Barquinha	$0,17 \pm 0,05$	$2,2 \pm 0,5$	—
	Valada	$\leq 0,05^*$	—	—
1989	Rodão	$0,08 \pm 0,03$	$1,6 \pm 0,3$	36 ± 12
	Fratel	$0,08 \pm 0,01$	$1,4 \pm 0,2$	19 ± 10
	Barquinha	$0,08 \pm 0,02$	$1,5 \pm 0,5$	41 ± 8
	Valada	$0,12 \pm 0,08$	≤ 1	$35 \pm 5^*$

(Moyenne géométrique $\pm$ écart supérieur)

* une seule valeur.

Il est intéressant de noter que le ^7Be , radioélément d'origine cosmique, ne commence à être détecté sur presque tous les échantillons d'hydrophytes qu'à la fin de 1987, tandis qu'auparavant il n'apparaissait qu'occasionnellement. Cela pourrait être dû au fait de l'utilisation d'un nouveau détecteur au Ge (Li) de plus grande efficacité ; cependant, sur les sédiments et les poissons on ne le retrouve presque jamais.

Bien que les hydrophytes présentent des concentrations de ^{137}Cs un peu plus élevées qu'auparavant, surtout en 1988, les facteurs de concentration calculés (radioactivité dans les plantes par kg de poids sec / radioactivité dans l'eau par litre) sont un peu faibles, de 10^3 à 2×10^3 , bien qu'encore dans la gamme citée dans la bibliographie [12].

Par contre, les facteurs de concentration calculés pour les poissons (radioactivité dans les poissons par kg poids frais / radioactivité dans l'eau par litre), ne dépassent pas 110. Bien qu'assez faibles, ces facteurs confirment ceux qui avaient été évalués auparavant (seulement pour le muscle) et peuvent être interprétés comme une conséquence de la compétition chimique entre le césium et le potassium [4].

En ce qui concerne les hydrophytes, cette compétition chimique n'est probablement pas aussi importante que chez les poissons.

Fig. 4. - Evolution de la concentration de ^{137}Cs dans les sédiments du Tage de 1981 à 1989

Fig. 5. – Evolution de la concentration de ^{137}Cs dans les hydrophytes du Tage de 1981 à 1989 (limite de détection : $2 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$)

Fig. 6. – Evolution de la concentration de ^{137}Cs dans les poissons du Tage de 1981 à 1989

5. CONCLUSIONS

Le bilan des données observées sur le Tage de 1981 à 1989 montre une nette influence du fonctionnement des centrales nucléaires espagnoles sur les concentrations de ^3H dans l'eau du fleuve, les niveaux mesurés en 1987 et 1989 étant de 3 à 5 fois supérieures à ceux observés précédemment. Fin 1986 et en 1987, une augmentation des concentrations de ^{137}Cs dans l'eau a également été observée, laquelle se reflète en 1988 sur les valeurs obtenues pour les sédiments, les plantes aquatiques et les poissons. Dans ce cas, bien que la cause en soit moins claire, il semblerait qu'elle ne puisse être que la même. En effet, les niveaux observés sur l'eau de pluie n'ont pas souffert de modification et, d'autre part, le ^{137}Cs n'a pas été détecté dans les différents échantillons du fleuve, ce qui éloigne comme probable l'influence de l'accident de Chernobyl sur cette augmentation.

En ce qui concerne les voies de transfert, il semble que les sédiments constituent le maillon préférentiel de rétention de ^{137}Cs . ■

RÉFÉRENCES

- [1] CARREIRO M.C.V., ELIAS M.D.T., SEQUEIRA M.M.A. – Contribuição para o estudo da radioactividade no rio Tejo, no ano de 1975. *Rapport LFEN-B-23*, 1977, 13 p.
- [2] CARREIRO M.C.V., SEQUEIRA M.M.A. – Contribution to the study of the radioactive pollution of rivers Douro and Tejo, during 1976. *Rapport LFEN-A-3*, 1978, 33 p.
- [3] CARREIRO M.C.V., SEQUEIRA M.M.A. – Contribution to the study of the radioactive pollution of rivers Douro and Tejo, during 1977-1978. *Rapport LNETI/DPSR-A-4*, 1980, 45 p.
- [4] CARREIRO M.C.V., SEQUEIRA M.M.A. – Cesium-137 in the portuguese rivers Douro and Tejo. *J. Environm. Radioact.*, 1987, 5, 363-377.
- [5] CARREIRO M.C.V., SEQUEIRA M.M.A. – Césio-137 e trítio no rio Tejo. 1º Congresso do Tejo, Lisboa, Portugal, Outubro de 1987. *Rapport LNETI/DPSR-B-101*, 1988, 20 p.
- [6] CARREIRO M.C.V., SEQUEIRA M.M.A. – Significado radiológico dos níveis de radioactividade no rio Tejo. 1ª Conferência nacional sobre a qualidade do ambiente, Aveiro, Portugal, Fevereiro de 1988. *Rapport LNETI/DPSR-B-102*, 1988, 12 p.
- [7] CARREIRO M.C.V. – Ecological study of three sampling stations in Tejo river. *Rapport LNETI/DPSR-B-4 (III Série)*, 1990, 96 p.
- [8] FAISCA M.C.S.R. – Medidas de trítio no ambiente. *Rapport LNETI/DPSR-B-69*, 1984, 25 p.
- [9] LAMBRECHTS A., FOULQUIER L. – Etude expérimentale des possibilités de transfert direct du césium-137 du sédiment vers la carpe (*Cyprinus carpio* L.). *Rapport CEA-R-5227*, 1983, 73 p.
- [10] LAMBRECHTS A. – Essai de modélisation du transport du césium-137 dans les compartiments d'un écosystème d'eau douce simplifié. *Rapport CEA-R-5268*, 1984, 181 p.

- [11] OLIVEIRA M.R.L., MONTEIRO M.T., COUTINHO M.T.P. – Estudo da estrutura e dinâmica das comunidades planctónicas do rio Tejo, nos troços de Fratel, Barquinha e Valada. *Rapport INIP nº 11*, 1989, 53 p.
- [12] PALLY M., FOULQUIER L. – Synthèse bibliographique sur la capacité et les modalités de la fixation du radiocésium par les végétaux aquatiques. *Rapport CEA-BIB-235*, 1981, 293 p.
- [13] PRESTON A., JEFFERIES D.F., DUTTON J.W.R. – The concentrations of caesium-137 and strontium-90 in the flesh of brown trout taken from rivers and lakes in the British Isles between 1961 and 1966 : the variables determining the concentrations and their use in radiological assessments. *Water Res.*, 1967, 1, 475-496.
- [14] SEQUEIRA M.M.A., BETTENCOURT A.O., TEIXEIRA M.M.G.R. – Radioactivity in rivers Douro and Tejo during 1979 and 1980 : evolution since 1976. *Rapport LNETI/DPSR-B-80*, 1984, 39 p.
- [15] SEQUEIRA M.M.A., CARREIRO M.C.V., BETTENCOURT A.O. – Controlo radiológico do rio Tejo, 1981-1986. *Rapport LNETI/DPSR-B-nº 106*, 1988, 79 p.
- [16] SEQUEIRA M.M.A., CARREIRO M.C.V., BETTENCOURT A.O. – Controlo radiológico do rio Tejo, 1987-1988. *Rapport LNETI/DPSR-B-nº 110*, 1989, 34 p.
- [17] SEQUEIRA M.M.A., CARREIRO M.C.V., BETTENCOURT A.O. – Controlo radiológico do rio Tejo, 1989. *Rapport LNETI/DPSR-B-nº 110*, 1990, 23 p.
- [18] WETZEL R.G. – *Limnology*, 2 ed. Philadelphia : Saunders publishing Co., 1983, 179-183.