Campagne d'échantillonnage et de mesure de champignons et de baies dans un massif forestier du Parc National du Mercantour

Ph. CALMON*

(Manuscrit reçu le 16 septembre 1998, révisé le 27 mai 1999, accepté le 3 septembre 1999)

RÉSUMÉ

Lors du passage du nuage de Tchernobyl, en France, les dépôts ont été les plus élevés dans la partie Est du pays. Dû à des précipitations importantes entre le 1^{er} et le 5 mai 1986, notamment dans le Mercantour, cette région a reçu des dépôts significatifs en césium. En septembre 1997, en collaboration avec le Parc National du Mercantour, une campagne d'échantillonnage et de mesure de champignons et de baies a été menée dans la forêt du Boréon, entre 1500 et 1700 m d'altitude. La concentration maximum en ^{137}Cs dans des champignons a été : $130,3 \pm 5,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ frais pour des *Lactaires* délicieux et la concentration minimum dans des *Coulemelles* : $1,0 \pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ frais et dans les baies : $1,8 \pm 0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ frais pour des *Myrtilles*. Dans les sols, les activités surfaciques déterminées pour le même radionucléide ont varié entre 16 et 92 kBq m^{-2} , ce qui est conforme aux résultats déjà trouvés par l'IPSN dans ce secteur. La part des retombées anciennes par rapport à Tchernobyl est en moyenne de 40 % des valeurs totales mesurées en ^{137}Cs .

ABSTRACT Sampling and measuring operation for mushrooms and berries in a forested massif belonging to the National Parc of Mercantour.

When the Chernobyl plume crossed France, most of the deposition acted in the eastern part of the country. Because of heavy precipitations, between the first and the fifth of May 1986, especially in the Mercantour, this region received significant deposition levels of cesium. In September 1997, in collaboration with the National Parc of Mercantour, a sampling and measuring operation for mushrooms and berries was conducted in the Boréon forest, between 1500 and 1700 meters high. The maximal concentration of ^{137}Cs in mushrooms was: $130.3 \pm 5.5 \text{ Bq kg}^{-1}$ fresh weight, for *Lactarius deliciosus* and the minimum concentration in *Macrolepiota procera*: $1.0 \pm 0.1 \text{ Bq kg}^{-1}$ fresh weight and in berries: $1.8 \pm 0.1 \text{ Bq kg}^{-1}$ fresh weight for *Vaccinium myrtillus*. In soils, the surfacic concentrations found for the same radionuclide varied between 16 and 92 kBq m^{-2} . This is in accordance with other results already identified by IPSN, in this site. On the average, 40% of the measured concentrations of ^{137}Cs can be attributed to the nuclear weapons test fallout and the rest to the Chernobyl fallout.

* IPSN, Institut de protection et de sûreté nucléaire, département de protection de l'environnement, service d'études et de recherches radioécologiques de laboratoire, C.E. Cadarache, 13108 Saint-Paul-lez-Durance Cedex. France.

1. Matériel et méthodes

Une campagne d'échantillonnage a été organisée le 3 septembre 1997 en collaboration avec le Parc National du Mercantour. Les prélèvements ont été effectués dans le Massif du Boréon, au-dessus de St Martin-Vésubie, depuis la vallée du Boréon jusqu'au vallon de Salèse.

Cinq espèces de champignons (bolets, coulemelles, chanterelles, girolles et lactaires) et une espèce de baies (myrtilles) ont été collectées. À chaque fois que cela a été possible, le sol sous-jacent ou proche a été prélevé en même temps, selon des couches successives de 5 cm jusqu'à une profondeur maximale de 25 cm. Pour ce faire, un carottier (tube inox de 7,3 cm de diamètre) a été utilisé.

Les échantillons ramenés au laboratoire ont été pesés immédiatement afin de déterminer le poids frais. Les champignons et les baies ont été lavés à l'eau douce pour les débarrasser de particules de terre, de débris végétaux ou de feuilles. Les couches de sol ont subi un tamisage à 2 mm afin de retirer les cailloux et divers débris végétaux. Tous les échantillons ont ensuite été séchés à l'étuve à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids constant. Une fois séchés, tous les échantillons ont été pesés afin de déterminer le poids sec.

Les échantillons ont ensuite été broyés, à l'aide d'un broyeur à couteaux, afin d'obtenir une poudre fine et homogène. Cette poudre a été répartie et tassée dans des géométries de 20, 60, 200 et 380 ml, selon les quantités disponibles pour chaque échantillon. Les mesures d'activité ont été effectuées par le laboratoire de mesure de la radioactivité de l'environnement, appartenant à l'IPSN et situé à Orsay (91).

Les échantillons ont été analysés par spectrométrie- γ Germanium bas niveau, avec un temps de comptage de 8 000 secondes.

2. Résultats

2.1. Concentrations en ^{40}K , ^{134}Cs et ^{137}Cs des champignons et des baies

Dans le tableau I, sont rassemblés les résultats des mesures en ^{40}K , radionucléide naturel le plus représenté dans la biosphère, et en ^{134}Cs et ^{137}Cs , radionucléides artificiels majoritairement déposés après l'accident de Tchernobyl. Afin de concentrer les radionucléides et d'abaisser le seuil de détection, tous les échantillons ont été mesurés en sec. Connaissant les rapports poids frais/poids sec de chacun des échantillons, les concentrations en ^{137}Cs ont pu être calculées en référence au poids frais.

TABLEAU I

Concentrations en ^{40}K , ^{134}Cs et ^{137}Cs de quelques espèces de champignons et de baies, récoltés dans le Massif du Boréon.

Concentrations in ^{40}K , ^{134}Cs and ^{137}Cs of some species of mushrooms and berries collected in the Boreon massif.

Espèces	Concentration en ^{40}K (Bq kg ⁻¹ frais)	Concentration en ^{134}Cs (Bq kg ⁻¹ frais)	Concentration en ^{137}Cs (Bq kg ⁻¹ frais)
Cèpes n°1 (<i>Boletus edulis</i>)	86,4 ± 5,8	< 0,23	14,4 ± 0,8
Coulemelles (<i>Macrolepiota procera</i>)	111,6 ± 6,2	< 0,12	1,0 ± 0,1
Cèpes n°2 (<i>Boletus edulis</i>)	85,4 ± 4,9	0,22 ± 0,06	32,7 ± 1,5
Cèpes n°3 (<i>Boletus edulis</i>)	75,6 ± 4,4	0,28 ± 0,04	34,2 ± 1,4
Cèpes n°4 (<i>Boletus edulis</i>)	63,2 ± 4,0	0,22 ± 0,04	46,6 ± 2,0
Chanterelles (<i>Cantharellus lutescens</i>)	55,6 ± 3,3	0,84 ± 0,06	106,7 ± 4,4
Girolles n°1 (<i>Cantharellus cibarius</i>)	91,8 ± 6,2	0,29 ± 0,03	54,6 ± 3,1
Girolles n°2 (<i>Cantharellus cibarius</i>)	92,4 ± 5,4	0,67 ± 0,07	67,2 ± 3,0
Lactaires délicieux (<i>Lactarius deliciosus</i>)	70,3 ± 4,7	1,64 ± 0,12	130,4 ± 5,5
Myrtilles (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	23,4 ± 1,7	< 0,05	1,8 ± 0,1

Ces résultats montrent que les concentrations en ^{40}K ne présentent qu'une variation faible d'environ un facteur 2,2 entre les différentes espèces de champignons. La concentration en ^{40}K des myrtilles est ici 4 à 5 fois plus faible que la moyenne de celle des champignons, ce qui est dû à la composition naturelle en éléments essentiels propre à chaque type de végétal. Les concentrations en ^{137}Cs des différentes espèces de champignons sont nettement plus variables, d'un facteur 130, comparativement à celles du ^{40}K .

Les niveaux de concentration en ^{137}Cs des cèpes, des chanterelles, des girolles et des lactaires sont détectables et présentent des niveaux significatifs, cependant au minimum 10 fois inférieurs à la limite de 1,250 Bq kg⁻¹ frais, fixée le 22/07/1989 par la Directive CEE pour les produits alimentaires autres que les produits laitiers, les boissons et les aliments pour nouveau-nés et relatifs aux isotopes du césium.

2.2. Concentrations en ^{40}K , ^{134}Cs et ^{137}Cs des sols

Dans la mesure du possible, des échantillons de sol ont systématiquement été pris sous, ou à proximité, des points de collecte des champignons et des myrtilles. Les sols ont été prélevés à l'aide d'un carottier. La présence d'une trop grande quantité de pierres a empêché le prélèvement du sol pour les cèpes n°2 et a contraint à ne prélever que la première couche de sol pour les cèpes n°4, les chanterelles et les girolles n°1. Les prélèvements de sol se sont déroulés par couches successives de 5 cm, jusqu'à 25 cm de profondeur, lorsque le terrain l'a permis.

Fig. 1. – Concentrations en ¹³⁷Cs de différents horizons successifs de sol dans le massif du Boréon.
¹³⁷Cs concentrations in several successive layers of soil in the Boreon massif.

Les concentrations en ⁴⁰K sont homogènes entre les différents sols et ne varient pas en fonction de la profondeur de sol. Elles se situent en moyenne à 889 ± 58 Bq kg⁻¹ sec. En revanche, les concentrations en ¹³⁷Cs diminuent fortement avec la profondeur, comme l'illustre la figure 1.

Connaissant le poids de chaque couche de sol prélevée ainsi que le volume défini par la section du carottier, il est possible de rapporter la concentration en ¹³⁷Cs à une surface de 1 m². Les résultats sont présentés dans le tableau II.

3. Discussion

3.1. Rapports isotopiques des profils de sols

Lorsque les concentrations en ¹³⁴Cs sont détectables, il est possible de calculer les rapports isotopiques ¹³⁷Cs/¹³⁴Cs afin de déterminer l'origine du césium. Lors de

TABLEAU II

Contamination surfacique en ^{137}Cs des couches de sols sur lesquels ont été récoltés les champignons et les baies, en septembre 1997, dans le massif du Boréon.

Surfacic contamination in ^{137}Cs of soil layers where mushrooms and berries were collected in September 1997, in the Boreon massif.

Sols	Profondeur de sol prélevé	Contamination surfacique en ^{137}Cs (Bq m^{-2})
Sol Cèpes n°1	0 – 15 cm	27,416
Sol Coulemelles	0 – 20 cm	24,474
Sol Cèpes n°2	-	ND
Sol Cèpes n°3	0 – 25 cm	15,671
Sol Cèpes n°4, Chanterelles et Girolles n°1	0 – 10 cm	29,597
Sol Girolles N°2	0 – 20 cm	80,702
Sol Lactaires délicieux	0 – 25 cm	91,925
Sol Myrtilles	0 – 25 cm	31,924

l'accident de Tchernobyl, deux isotopes radioactifs du césium de périodes longues ont été rejetés dans l'atmosphère : le ^{134}Cs (Période = 2,06 ans) et le ^{137}Cs (30 ans). Début mai 1986, si la mesure d'un échantillon quelconque issu de l'environnement montrait entre les deux isotopes un rapport de concentration égal à 2,1, l'origine d'une contamination due à Tchernobyl était indiscutable. Le ^{134}Cs décroît plus rapidement au cours du temps que le ^{137}Cs , ainsi le rapport spécifique tchernobyléen augmente régulièrement avec le temps et a atteint la valeur de 72,1 début septembre 1997, date à laquelle ont été effectués les prélèvements.

La contribution de l'accident de Tchernobyl dans les sols évolue de 37 à 85 %, mais tous sols et couches de sol confondus, elle ne dépasse pas 60 %, en moyenne. Ce qui signifie que les 40 % restant proviennent des retombées des anciens tirs d'essais d'armes atomiques effectués dans les années 1960.

Les rapports isotopiques dans les sols augmentent en fonction de la profondeur, indiquant ainsi que le césium provenant de l'accident de Tchernobyl n'a pas migré aussi profondément que celui provenant des anciens tirs.

Si l'on compare les rapports isotopiques des champignons avec ceux des sols (Tab. III), il est possible d'estimer la profondeur de la couche de sol où se situent le mycélium du champignon. Malheureusement, des concentrations en ^{134}Cs n'ont pas pu être détectées dans chaque couche de sol. Les lactaires délicieux, ayant un rapport isotopique très proche du premier horizon de sol, ont très probablement leur mycélium très superficiel. En revanche, les girolles semblent avoir un mycélium beaucoup plus profond, en dessous des 10 premiers centimètres du sol.

TABLEAU III

Rapports isotopiques du césium de quelques champignons et de sols prélevés dans le massif du Boréon, en septembre 1997.

Cesium isotopic ratios for some mushrooms and soils sampled in the Boreon massif, in September 1997.

		Rapports isotopiques $^{137}\text{Cs} / ^{134}\text{Cs}$	
		Champignons et baies	Sols
Girolles n°2		100	
Sol Girolles n°2 :	0 – 5 cm		85
	5 – 10 cm		93
	10 – 15 cm		129
	15 – 20 cm		114
Lactaires délicieux		80	
Sol Lactaires délicieux :	0 – 5 cm		85
	5 – 10 cm		104
	10 – 15 cm		104
	15 – 20 cm		ND
	20 – 25 cm		ND

ND: non déterminé, car pas de concentration détectable en ^{134}Cs .

3.2. Facteurs et coefficients de transfert aux champignons et aux baies

Afin de rendre compte des transferts entre les sols et les champignons ou les baies, on peut utiliser soit le facteur de transfert, soit le coefficient de transfert selon que l'on rapporte la contamination du sol soit par rapport à la masse de terre, soit par rapport à une surface d'un m^2 .

Le facteur de transfert est le rapport entre la concentration du radionucléide dans les champignons ou les baies et celle dans le sol. L'unité est le $\text{Bq kg}^{-1} / \text{Bq kg}^{-1}$.

Le coefficient de transfert est le rapport entre la concentration du radionucléide dans les champignons ou les baies et celle rapportée à une surface de 1 m^2 de sol. L'unité est le $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$.

L'AIEA (AIEA, 1994) recommande l'utilisation d'un coefficient de transfert global, exprimé en $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ($\text{Bq kg}^{-1} / \text{Bq m}^{-2}$) car, précisent Fawaris et Johanson (1995), dans les études sur le terrain, l'utilisation du coefficient de transfert (en $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$) est préférable, principalement à cause de la répartition hétérogène du radiocésium en forêt et le manque de connaissance de la répartition en profondeur du mycélium des champignons impliqués dans l'absorption du radiocésium.

TABLEAU IV

Facteurs de transfert du ^{137}Cs et du ^{40}K et coefficient de transfert du ^{137}Cs de champignons et de baies prélevés dans le massif du Boréon, en septembre 1997.

Transfer factors for ^{137}Cs , ^{40}K and transfer coefficients of ^{137}Cs for mushrooms and berries sampled in the Boreon massif, in september 1997.

Sols	Facteur de transfert du ^{40}K (Bq kg^{-1} frais / Bq kg^{-1} sol sec)	Facteur de transfert du ^{137}Cs (Bq kg^{-1} frais / Bq kg^{-1} sol sec)	Coefficient de transfert du ^{137}Cs (Bq kg^{-1} frais / Bq.m^{-2} sol)
Cèpes n°1			
Sol Cèpes n°1 : 0–15 cm	0,10	0,025	$0,53 \times 10^{-3}$
Coulemelles			
Sol Coulemelles : 0–20 cm	0,13	0,005	$0,04 \times 10^{-3}$
Cèpes n°2	non disponible	non disponible	non disponible
Cèpes n°3	0,07	0,17	$2,18 \times 10^{-3}$
Sol Cèpes n°3 : 0–20 cm			
Cèpes n°4	0,06	0,09	$1,57 \times 10^{-3}$
Chanterelles	0,05	0,21	$3,60 \times 10^{-3}$
Girolles n°1	0,09	0,11	$1,85 \times 10^{-3}$
Sol associé : 0–10 cm			
Girolles n°2			
Sol Girolles n°2 : 0–20 cm	0,21	0,08	$0,83 \times 10^{-3}$
Lactaires délicieux			
Sol Lactaires délicieux : 0–20 cm	0,09	0,46	$1,42 \times 10^{-3}$
Myrtilles			
Sol Myrtilles : 0–20 cm	0,02	0,01	$0,06 \times 10^{-3}$

TABLEAU V

Facteurs de transfert du ^{40}K et du ^{137}Cs pour quelques champignons.

Transfer factors of ^{40}K and ^{137}Cs for some mushrooms.

Espèces	Facteurs de transfert (Bq kg^{-1} frais / Bq kg^{-1} sol sec)	
	^{40}K	^{137}Cs
<i>Boletus edulis</i>	0,17	0,07
<i>Gomphidius glutinosus</i>	0,17	0,15
<i>Rozites caperata</i>	0,16	3,2
<i>Russula integra</i>	0,27	0,005
<i>Suillus luteus</i>	0,2	1,87
<i>Xerocomus badius</i>	0,22	1,77

Le tableau IV regroupe les facteurs de transfert pour le ^{137}Cs et le ^{40}K et le coefficient de transfert pour le ^{137}Cs .

Les facteurs de transfert pour le ^{40}K sont relativement stables, avec un écart maximal d'environ un facteur 5, alors que les facteurs de transfert pour le ^{137}Cs sont extrêmement variables, d'un facteur d'environ 100. Ceci est en parfait accord avec les données de Heinrich (1992) qui a relevé les facteurs de transfert à la fois pour le potassium et le césium. Les résultats sont présentés dans le tableau V.

On peut s'apercevoir facilement que les facteurs de transfert pour le ^{40}K fluctuent peu à l'intérieur de limites étroites alors que ceux du ^{137}Cs varient largement. Les mécanismes gouvernant l'accumulation du césium dans les champignons ne sont pas connus, mais Bakken et Olsen (1990) proposent l'hypothèse suivante : dans la membrane cellulaire du mycélium de certains champignons, les enzymes de transport présenteraient des propriétés de discrimination entre les ions Cs^+ et K^+ , ce qui pourrait expliquer les différences importantes entre espèces de champignons.

Une autre hypothèse pourrait être également l'existence dans certaines espèces de champignons de composés chimiques, comme des dérivés de l'acide pulvinique chez *Xerocomus badius*, qui présentent une très grande affinité pour le césium (Heinrich, 1993).

En comparaison avec des coefficients de transfert obtenus dans diverses publications internationales, les valeurs trouvées dans le Boréon sont, globalement 5 à 130 fois inférieures à celles publiées (voir Tab. VI). Ce constat peut s'expliquer soit par l'importance des retombées des anciens tirs, dont on dit habituellement que le césium n'est pratiquement plus disponible, soit par une tendance à une diminution des coefficients de transfert en fonction du temps, soit encore à des caractéristiques physico-chimiques du sol qui rendent le césium moins disponible.

TABLEAU VI

Coefficients de transfert obtenus dans le Massif du Boréon comparés à ceux de la littérature internationale.

Transfer coefficients obtained in the Boreon massif compared to international references.

Champignons et baies	Coefficients de transfert ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1} \text{sec}$)	
	Massif du Boréon	Valeurs publiées (1)
<i>Boletus edulis</i>	0,02 (moyenne)	0,09
<i>Cantharellus cibarius</i>	0,02 (moyenne)	0,2
<i>Cantharellus lutescens</i>	0,07	0,5
<i>Lactarius deliciosus</i>	0,02	Lactarius sp. : 0,5-9,0
<i>Macrolepiota procera</i>	0,0003	0,006
<i>Vaccinium myrtillus</i>	0,0006	0,08

(1) : Bakken et Olsen, 1990 ; Battiston *et al.*, 1989 ; Block et Pimpl, 1990 ; Byrne, 1988 ; Fawaris et Johanson, 1994 et 1995 ; Henrich *et al.*, 1990 ; Horyna et Randa, 1988 ; Hove *et al.*, 1990 ; IAEA, 1994 ; Kenigsberg *et al.*, 1995 ; Lambinon *et al.*, 1988 ; Mascanzoni, 1990 ; Randa *et al.*, 1990 ; Rantavaara, 1990 ; Römmelt *et al.*, 1990 ; Svadlenkova, 1996.

Conclusion

Lors de cette mission d'étude, il a été possible de :

- disposer de valeurs de contamination de certaines espèces de champignons, de baies, en référence au sol sur lequel ils ont poussé, dans un endroit précis du Parc National du Mercantour ;
- déterminer les rapports isotopiques, les facteurs et coefficients de transfert afin d'évaluer les dépôts, les phénomènes de migration dans les sols, les transferts aux champignons et aux baies et les comparer aux valeurs de la littérature internationale ;
- montrer que les teneurs en césium, même si elles sont significatives, restent très inférieures aux concentrations maximales admissibles.

Remerciements : Cette campagne d'échantillonnage a été entreprise en collaboration avec le Parc National du Mercantour et grâce à l'aide du secteur de Saint-Martin Vésubie. Le laboratoire d'études radioécologiques continentales et de la méditerranée (LERCM) de Cadarache a participé aux prélèvements sur le terrain et au conditionnement des échantillons. Les mesures de spectrométrie gamma ont été réalisées par le laboratoire de mesure de la radioactivité de l'environnement (LMRE) d'Orsay.

RÉFÉRENCES

- Bakken L.R., Olsen R.A. (1990) Accumulation of Radiocaesium in fruit bodies of fungi. Dans : *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments* (G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli, Eds) pp. 664-668. Elsevier, Londres.
- Battiston G.A., Degetto S., Gerbasi R., Sbrignadello G. (1989) Radioactivity in mushrooms in Northeast Italy following the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* **9**, 53-60.
- Block J., Pimpl M. (1990) Cycling of radiocaesium in two forest ecosystems in the state of Rhineland-Palatinate. Dans : *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments* (G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli, Eds) pp. 450-458. Elsevier, Londres.
- Byrne A.R. (1988) Radioactivity in fungi in Slovenia, Yugoslavia, following the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.* **6**, 177-183.
- Fawaris B.H., Johanson K.J. (1994) Radiocaesium in soil and plants in a forest in central Sweden. *Sci. Total Environ.* **157**, 133-138.
- Fawaris B.H., Johanson K.J. (1995) A comparative study on Radiocaesium (^{137}Cs) uptake from coniferous forest soil. *J. Environ. Radioact.* **28**, 313-326.
- Heinrich G. (1992) Uptake and transfer factors of ^{137}Cs by mushrooms. *Radiat. Environm. Biophys.* **31**, 39-49.
- Heinrich G. (1993) Distribution of radiocaesium in the different parts of mushrooms. *J. Environ. Radioactivity*, **18**, 229-245.
- Henrich E., Friedrich M., Haider W., Kienzl K., Hiesel E., Boisits A., Hekerle G. (1990) The contamination of large Austrian forest systems after the Chernobyl nuclear reactor accident: studies 1988 and further. In: *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments* (G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli, Eds) pp. 217-225. Elsevier, Londres.

- Horyna J., Randa Z. (1988) Uptake of radiocesium and alkali metals by mushrooms. *J. Radioanal. Nucl. Chem. Lett.* **127** (2), 107-120.
- Hove K., Pedersen O., Garmo T.H., Hansen H.S., Staaland H. (1990) Fungi : a major source of radiocesium contamination of grazing ruminants in Norway. *Health Physics* **59**, 189-192.
- AIEA (1994) *Handbook of parameter values for the prediction of the radionuclide transfer in temperate environments*, technical report series N° 364. AIEA, Vienna.
- Kenigsberg Y.E., Buglova E.E., Shevchuk V.E., Renaud Ph., Maubert H. (1995) Activity in foodstuffs from natural environments and activity changes due to culinary practices. In: *Joint Study Project 5 (JSP-5). Pathway Analysis and Dose Distributions* (Final report for the contracts COSU-CT93-0053 and COSU-CT94-0091 of the European Commission) pp. 63-86.
- Lambinon J., Fraiture A., Gasia M.C., Guillitte O. (1988) La radiocontamination des champignons sauvages en Wallonie (Belgique) suite à l'accident de Tchernobyl. Dans : *Impact des accidents d'origine nucléaire sur l'environnement, 14-18 mars 1988, Cadarache, tome 2.* (Centre d'études nucléaires de Cadarache) pp. E 37-44.
- Mascanzoni D. (1990) Uptake of ^{90}Sr and ^{137}Cs by mushrooms following the Chernobyl accident. Dans : *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments* (G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli, Eds) pp. 459-467. Elsevier, Londres.
- Randa Z., Benada J., Horyna J., Klan J. (1990) Mushrooms : significant source of internal contamination by radiocaesium. In: *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments* (G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli, Eds) pp. 169-178. Elsevier, Londres.
- Rantavaara A.H. (1990) Transfer of radiocaesium through natural ecosystems to foodstuffs of terrestrial origin in Finland. In: *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments* (G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli, Eds) pp. 202-209. Elsevier, Londres.
- Römmelt R., Hiersche L., Schaller G., Wirth E. (1990) Influence of soil fungi (basidiomycetes) on the migration of $\text{Cs}^{134+137}$ and Sr^{90} in coniferous forest soils. In: *Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments* (G. Desmet, P. Nassimbeni, M. Belli, Eds) pp. 152-160. Elsevier, Londres.
- Svadlenkova M., Konecny J., Smutny V. (1996) Model calculation of radiocaesium transfer into food products in semi-natural forest ecosystems in the Czech Republic after a nuclear reactor accident and an estimate of the population dose burden. *Environmental Pollution* **92**, 173-184.