

LE ^{137}Cs DES SOLS ET GUANOS DE ROUMANIE TREIZE ANS APRES TCHERNOBYL INCIDENCES SUR LE MILIEU KARSTIQUE

par

CARBONNEL J.P.¹, KLEIN D.², LAMY S.³

et

DECU V.⁴, BACIU F.⁵, SILVESTRU E.⁴, GHEORGHIU V.⁴ et A. GIURGINCA⁴

I - INTRODUCTION

La Roumanie a été affectée plus ou moins gravement par les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl. La totalité du territoire a été recouvert par ces retombées, en particulier par du césium 137 qu'on retrouve actuellement, non seulement dans les sols superficiels mais aussi dans les différents compartiments des chaînes trophiques.

Le niveau de césium dans les échantillons de l'environnement est cependant relativement réduit et celui des compartiments biologiques est quatre fois plus faible que l'exposition naturelle de référence qui est de 2,4 mSV/an.

Nous présentons ci après les résultats de mesures effectuées en 1998 et 1999 dans différentes régions de Roumanie, principalement sur des sols, et sur des guanos de Chauves-souris ainsi que sur quelques éléments de l'entomofaune et de la flore.

Dès l'accident de Tchernobyl (26 avril 1986) le réseau national de surveillance de la radioactivité de l'environnement de Roumanie, qui comprend 46 stations dont 24 permanentes réparties sur l'ensemble du pays (fig.1), a effectué des mesures dans les différents milieux (air, eau, sol, végétation) (S. SONOC *et al.*, 1989, 1990). Bien que certainement de nombreuses mesures aient été faites, peu ont été publiées de façon exhaustive (C. COSMA *et al.*, 1988, 1995 ; I. CHEREJI, 1996). Nous souhaitons donc contribuer à une meilleure connaissance des niveaux de pollution radioactive du pays et promouvoir par ce biais une prise de conscience des risques de contamination encourus par les espèces animales et végétales et leurs milieux et en dernier ressort par les hommes qui les utilisent ou les consomment.

Nous insisterons plus particulièrement sur un des milieux le plus sensible à la pollution, le milieu karstique dont on connaît la vulnérabilité à ce type de pollution (M. POURCHET *et al.*, 1998) et sur les Chiroptères qu'il héberge. Ces mammifères insectivores, en effet, se trouvent en bout de chaîne alimentaire, ils constituent donc des « bioaccumulateurs » privilégiés. D'autre part leur rassemblement en colonies dans des milieux la plupart du temps fermés, entraîne l'accumulation et la concentration de leurs déjections.

II - LES PRINCIPALES ZONES PROSPECTÉES

Quatre zones principales ont fait l'objet de prospections et de prélèvements en 1998 et 1999 par l'Institut de Spéologie « E. Racovitza », l'Université Paris 6 et l'Université de Franche Comté. Ce sont la Transylvanie, le Nord de la Moldavie (région de Suceava), l'Est du Banat (région de Baïlé Herculane), la Dobrodja du Sud et Centrale. Enfin les environs de Bucarest pour laquelle nous présentons quelques résultats. Le Réseau National de Surveillance de la Radioactivité de l'Environnement en Roumanie (RNSRE) a par ailleurs prélevé des échantillons à Drobeta Turnu Severin, Sibiu, Mt Ceahlau (à Toaca), Mts Bucegi (à Babelé) et à Oradea (fig. 2).

L'ensemble de ces zones, pour la plupart boisées, à l'exception de la région de Bucarest, est largement karstifié et héberge des colonies de Chauves Souris souvent depuis très longtemps (Carbonnel *et al.*, 1999). Elles

¹ Université Paris 6, Laboratoire de Géologie Appliquée, Paris (France).

² Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Laboratoire d'étude et de Recherches sur les Matériaux, les Plasmas et les Surfaces, Sévenans, 90010 Belfort cedex (France).

³ Université de Franche Comté, Laboratoire de Microanalyses Nucléaires, 25030 Besançon cedex (France).

⁴ Institut de Spéologie « E. Racovitza », Bucarest (Roumanie).

⁵ Commission Nationale pour le Contrôle de l'Activité Nucléaire (CNCAN), Bucarest (Roumanie).

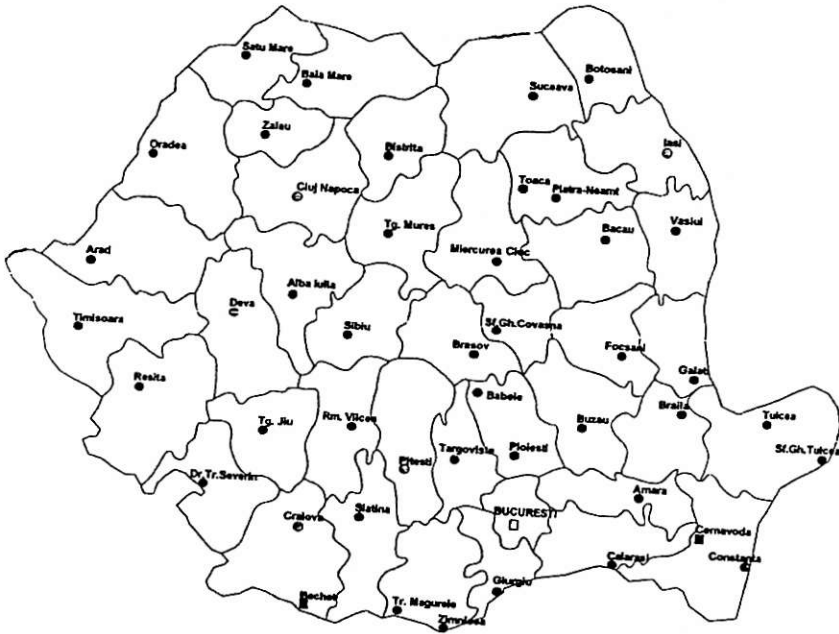


Fig. 1 – Emplacement des stations de surveillance de la radioactivité de l'environnement en 2000 en Roumanie.

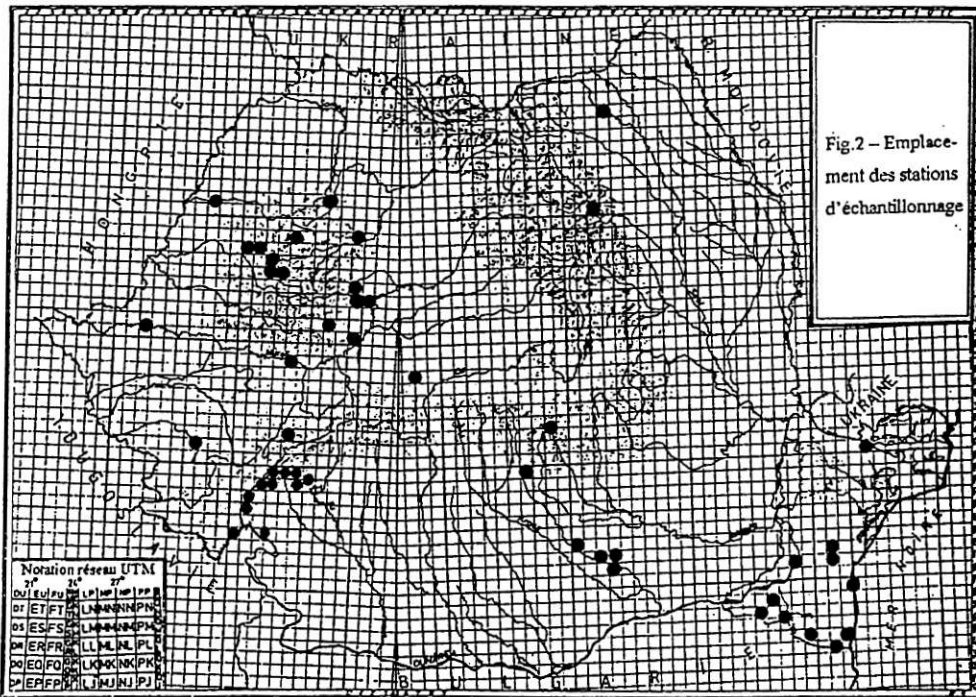


Fig. 2 – Emplacement des stations d'échantillonnage. ET 92 = Mousse du sol, Valisoara. FQ 04 = Grotte Gura Poncovei. FQ 16 = Grotte Gora Ungurului. FQ 17 = Grotte Hotilor ; Domogled (alt. 475 m) ; Coronini ; Trichoptères, région de Baile Herculane. FQ 28 = Grotte d'Izverna. FQ 38 = Grotte de Closani ; Grotte Bulba (Baia de Arama). FQ 39 = Grotte Lazului (Motru Sec). FQ 58 = Grotte de Fusteica (Isvarna). FQ 59 = Grotte Monastère de Tismana ; Grotte Liliencilor (Cheile Soholului). FR 42 = Mt Retezat (Bucura, alt. 2000 m). FS 07 = 6 km NE Beius. FS 17 = Grotte Meziad, entrée. FS 25 = Varasoia Nord, ; V. Sud ; lisière de forêt ; Balilasea Est ; Maison forestière de Padis ; Cetatzile Ponorului ; Sesul Pasisului. FS 26 = 7 km de Sudrigiu vers Pietroasa. FS 35 = Canton forestier de Glavoi ; Col de Vartop (alt. 1100 m). FS 48 = 15 km SSW Huedin. FS 93 = Cotorasti (9 km W Sloboda (alt. 860 m). FS 94 = Sommet du Mt Trascau (alt. 1100 m) ; Trascau Sud (Piatra Secuiului) ; Rimetea ville (jardin) ; Gorges d'Aliud (Valisoara). GS 03 = Aiud de Sus. LK 69 = Station Voinești (alt. 400 m). MK 03 = St. Ekaterine. MK 22 = Forêt de Bancasa. MK 31 = Forêt de Branesti. MK 32 = Parc Lacul Tei. MN 38 = Sol, Patrauti (Suceava, N Moldavie). NJ 57 = Forêt de Canaraua Fetei. NJ 67 = Forêt de Dumbraveni. NJ 68 = Forêt de Negureni. NJ 95 = Forêt de Negru Voda. PJ 14 = Forêt de Hagieni « source ». PJ 25 = Doline de Movile (Mangalia). PK 11 = Route Targusor-Mihail Kogalniceanu. PK 12 = Vallée Visterna (Gura Dobrogei).

demanderaient d'ailleurs à être à nouveau répertoriées car les travaux dans ce sens sont maintenant vieux de plus de vingt ans et ils ont besoin d'être actualisés. On sait en effet que ces colonies sont très sensibles à la présence humaine et qu'elles changent très facilement d'habitat sous diverses contraintes anthropiques. Les grottes à Chauves-souris que nous avons pu étudier sont loin de représenter la totalité de celles existantes dans ces régions mais elles constituent un premier inventaire qu'il serait urgent de continuer pour une meilleure connaissance du patrimoine européen.

Pour la région de Bucarest, outre quelques mesures de sols dans la ville même et ses environs, nous présentons tout un lot de mesures de césium sur divers compartiments d'un écosystème forestier proche d'une zone d'habitation rural (Sfanta Ecaterina) afin de montrer la complexité et les risques de transferts de césium dans une zone fréquentée et exploitée par l'homme.

III – METHODES D'ECHANTILLONAGES ET D'ANALYSE

Les sols ont été échantillonnés de deux façons : soit avec un préleveur de volume et de surface connus (100 cm^3 , surface 20 cm^2) permettant de calculer la surface de l'échantillon et donc d'obtenir une teneur en césium par m^2 de surface du sol, soit en prélevant une centaine de grammes de surface correspondant aux cinq premiers centimètres du sol qui ne permet de fournir qu'une valeur par kilo de matière sèche (kg.MS).

Les guanos ont fait l'objet soit d'un prélèvement de surface lorsqu'ils sont superficiels et peu épais, soit de prélèvements systématiques sur toute l'épaisseur de leur dépôt. Une grotte nous sert de référence dans les trois principales zones étudiées, ce sont, en Transylvanie la grotte de Méziad, dans le Banat la grotte lui Adam, et en Dobrodja la grotte de Liliecelor de la Gura Dobrogei. A ces trois dépôts, que nous avons étudiés en épaisseur, on a adjoint un certain nombre de dépôts de guano, en général superficiels, trouvés dans divers grottes abritant des Chauves-souris.

Les analyses de césium ont toutes été effectuées par l'Université de Franche Comté suivant un protocole spécifique (ISABEY, *et al.*, 1995 ; KLEIN, 1999). Les mesures de césium sont calculées en becquerels par mètre carré (Bq.m^2) pour certains sols ou en becquerels par kilo de matière sèche ($\text{Bq.kg}^{-1(\text{MS})}$) pour tous les échantillons.

Les analyses en spectrométrie gamma des échantillons du RNSRE de Roumanie, ont été effectuées par le Laboratoire de la Commission Nationale pour le Contrôle de l'Activité Nucléaire (CNCAN) de Bucarest-Afumati.

IV – RESULTATS ET COMMENTAIRES

L'ensemble des résultats analytiques sont regroupés dans les tableaux 1, 2 et 3, 4, 5 correspondant réciproquement aux mesures des sols roumains et des guanos. Au tableau 6 figure l'ensemble des résultats de la station de St. Ecaterina située à environ 20 km au NO de Bucarest.

Les localisations des sols correspondent soit au lieu-dit facilement repérables sur les cartes topographiques disponibles, soit aux grottes dans les environs immédiats desquelles ils ont été prélevés (fig.2). Ces résultats appellent les commentaires généraux suivants.

IV. 1 - Pour les Sols

Tous les sols étudiés présentent des teneurs en ^{137}Cs dont les valeurs varient sur une plage très importante mais toutes significatives, ce qui nous permet d'affirmer que l'ensemble des sols de la Roumanie ont été pollués par les retombées radioactives de Tchernobyl et/ou par les retombées des essais nucléaires aériens des années 60.

Au niveau de sols il semblerait que les trois zones étudiées soient significativement différentes quant à leur degré de pollution. En effet à un niveau très global la moyenne des mesures de ces trois zones sont : 509 Bq.kg^{-1} (N=21) avec un minimum de 26 Bq.kg^{-1} et un maximum de 2534 Bq.kg^{-1} pour la Transylvanie, 201 Bq.kg^{-1} (N=23) avec un minimum de 3 Bq.kg^{-1} et une maximum de 1084 Bq.kg^{-1} pour la région de Baile Herculane et 44 Bq.kg^{-1} (N=9) avec un minimum de 5 Bq.kg^{-1} et un maximum de 129 Bq.kg^{-1} pour la Dobrodja. La région de Bucarest quant à elle présente une moyenne de 114 Bq.kg^{-1} pour les 5 échantillons analysés, avec un minimum de 36 et un maximum de 193 Bq.kg^{-1} . Ces résultats sont à mettre en relation avec la pluviométrie dans ces zones dans les 10 jours qui ont suivis l'accident de Tchernobyl, principalement les deux derniers jours d'avril et les deux premiers de mai 1986. Il a en effet plu durant ces quatre jours sur la Roumanie, relativement peu (moins de 2 mm cumulés) le long de la frontière est du pays englobant la Dobrodja (Mangalia : 0,8 mm, Constanza : 0,5

mm), alors que la zone centrale montagneuse du pays et le Banat recevait jusqu'à 38 mm (à Oravita) de précipitations.¹

Tableau 1. Teneur en Cs137 dans les sols de Roumanie

Transylvanie, Nord Moldavie		Bq.kg ⁻¹	Bq.m ⁻²
98-01	15 km SSO Huedin		144+/-8
98-04	Varasoia Nord (doline)	489+/-15	360+/-5
98-05	Varasoia (lisière forêt)	360+/-5	
98-11	Varasoia Sud	836+/-59	
98-13	Balileasa Esr	109+/-12	
98-14	Canton sylvique de Glavoi	1037+/-10	
98-15	Maison forestière de Padis	1325+/-20	
98-17	Entrée grotte de Meziad	61+/-3	
98-20	6km NE de Beius	129+/-2	
98-22	Cetatile ponorului	907+/-59	
98-22	Cetatile ponorului	909+/-19	
98-23	Sesul Padisolui	430+/-20	
98-25	7 km de Sudrigui vers Pietrasa	48+/-8	
98-27	Col de Virdup (alt. 1160 m)	250+/-12	
98-29	Sommet Mt Trascau (alt. 1100 m)	505+/-15	
98-31	Trascau Sud (Piatra Secuiului)	199+/-3	
98-32	Rimeata-ville (jardin)	152+/-20	
98-33	Aiud de Sus	63+/-2	
98-35	Cotorasti (9 km Ouest Sloboda) (alt.860 m)	181+/-11	
98-36	Gorge d'Aiud (Valisoara)	26+/-3	
98-8	Mt Retezat (Bucura, 2000 m)	2534+/-59	
	Moyenne régionale	509 +/- 599 (N = 21)	
98-04	<i>Mousse du sol 98-04</i>	<i>1088+/-83</i>	
97-9-4	Sol Patrauti (Suceava)	131+/-8	
Est Banat			
97-S	Coronini	180+/-65	
97-Ru	Domogledi (alt. 475 m)	78+/-8	
SBUL3	Grotte Bulba (Baia de Arama)	148+/-59	9730
SBUL4	Grotte Bulba (Baia de Arama)	390+/-5	30257
SBUL5	Grotte Bulba (Baia de Arama)	26+/-2	1373
SCLO4	Grotte de Closani	81+/-7	6311
SCLO5	Grotte de Closani	26+/-3	1491
SFUZ3	Grotte de Fusteica (Izverna)	706+/-16	40315
SFUZ4	Grotte de Fusteica (Izverna)	299+/-9	23253
SHOT2	Grotte Hotilor (Baile Herculane)	186+/-7	14434
SHOT3	Grotte Hotilor (Baile Herculane)	1084+/-40	29708
SHOT4	Grotte Hotilor (Baile Herculane)	34+/-3	3139
SIZV 1	Grotte d'Izverna	220+/-5	15820
SIZV2	Grotte d'Izverna	232+/-1	14167
SLAZ2	Grotte Lazului (Calugareni)	237+/-9	18835
SLAZ3	Grotte Lazului (Calugareni)	31+/-1	2387
SPON2	Grotte Gura Ponicovei	4+/-3	487
SPON3	Grotte Gura Ponicovei	3+/-0	216
SPON4	Grotte Gura Ponicovei	128+/-5	10011

¹ Données fournies par l'Institut National de Météorologie et d'Hydrologie que nous remercions de cette contribution.

	Bq.kg ⁻¹	Bq.m ⁻²
SSOH2 Grotte de Sohodol	188+/-6	10806
STIZ1 Grotte monastère de Tismana	157+/-2	8896
STIZ2 Grotte monastère de Tismana	186+/-4	9250
SUNG3 Grotte Gaura Ungurului (Baile Herculane)	7+/-1	630
Moyenne régionale	201 +/- 248 (N = 23)	
98-51 <i>Trichopteras (région Baile Herculane)</i>	10+/-12	
Dobrodja (Sud et Centrale)		
98-40 Forêt de Negureni	64+/-3	
98-41 Forêt de Negureni	129+/-2	
98-42 Forêt de Canavera Fetei	44+/-10	
98-44 Forêt de Dumbraveri	67+/-28	
99-01 Forêt de Negru Voda	22+/-6	
99-09 Forêt de Hagieni « source »	15+/-2	
99-10 Forêt de Hagieni « Quercus »	42+/-5	
99-16 Vallée grotte Liliecelor	36+/-6	
99-17 Route Tirgusor-Mihail Kogaluiceanu	18+/-5	
99-18 Doline de Movilé (Mangalia)	5+/-2	
Moyenne régionale	44 +/- 36 (N = 10)	
98-44 <i>Litière forêt Dumbraveri</i>	24+/-2	
98-41 <i>Macrolepiota sp. Forêt Negureni</i>	14+/-3	
98-39 <i>Epis de maïs. Negureni village</i>	2+/-1	
Bucarest et environs		
98-52 Parc Lacul Tei	36+/-3	
98-46 Forêt de Baneasa	181+/-6	
98-45 Forêt de Branesti	44+/-6	
98-xx Ste Ecaterina	118+/-131 (n=5)	
99-2 Station Voinești (400m)	193+/-7	
Moyenne régionale	114 +/- 74 (N = 5)	

Le domaine de variation des teneurs en césium dans une même région est excessivement large. Cette grande variabilité est bien connue (RENAUD Ph. *et al.*, 1999), elle reflète la variabilité originelle des précipitations qui ont déposé les retombées mais aussi les phénomènes locaux d'érosion, de lessivage et de transferts de ces retombées depuis leur dépôt. Cette variabilité que seul un très grand nombre de mesures ponctuelles serait capable d'appréhender, n'est guère quantifiable à l'échelle de notre étude, c'est pourquoi, comme nous le verrons plus loin, seul un « intégrateur » spatial tel que les Chauves-souris et leurs déjections devrait être capable de fournir une mesure approchée du « degré moyen de contamination » d'une région donnée.

On notera par ailleurs que les régions montagneuses sont en moyenne d'un ordre de grandeur plus contaminées que les terres de basse altitude. On en voudra pour preuve les fortes teneurs trouvées au Mt Retezat (2000 m) avec 2534 Bq.kg⁻¹, dans la zone de canton sylvicole de Padis (1500 m) dans les Mts Apuseni avec 1037 et 1325 Bq.kg⁻¹, dans les sols montagneux de Moldavie (Bicazul Ardelean) avec plus de 5000 Bq.kg⁻¹ et dans les hautes vallées du plateau des Mts Bucegi avec 3084 Bq.kg⁻¹. On trouve cependant des teneurs comparables beaucoup plus bas, ainsi près de la grotte Hotilor (150 m) avec 1084 Bq.kg⁻¹, échantillon proche d'un autre n'affichant que 34 Bq.kg⁻¹. Cette énorme variabilité à toutes les échelles spatiales est donc la caractéristique principale de ces retombées et seule une approche indirecte peut tenter de l'appréhender.

Les résultats présentés au tableau 2 sont, en général, en bonne concordance avec ceux du tableau 1, compte tenu de cette variabilité. De plus il faut noter que les sols du tableau 2 proviennent de zones non cultivées, et non perturbées alors que ceux du tableau 1 sont issus majoritairement de zones boisées où la contamination est la plus intense comme l'ont montré l'ensemble des résultats rapportés dans la bibliographie.

Tableau 2. Evolution des teneurs en ^{137}Cs d'échantillons annuels de sol non cultivé dans les principales zones représentatives de Roumanie.

Stations de surveillance de la radioactivité	$\Delta \text{Cs} - 137 \text{ +/- } \epsilon \Delta \text{ (Bq/kg)}$		
	1998	1999	2000
Bucuresti	16,1 +/- 8%	31,6 +/- 1%	75,9 +/- 3%
Cluj	34,3 +/- 5%	81,8 +/- 3%	101,8 +/- 5%
Alba Iulia	35,9 +/- 6%	45,1 +/- 4%	42,2 +/- 2%
Arad	manque échantillon	29,9 +/- 6%	19,1 +/- 4%
Deva	8,6 +/- 11%	25,5 +/- 6%	17,7 +/- 5%
Oradea	3,7 +/- 11%	8,8 +/- 10%	3,9 +/- 37%
Resida	manque échantillon	53,9 +/- 3%	61,2 +/- 5%
Turgu Jiu	154,3 +/- 2%	435,1 +/- 1%	113,9 +/- 2%
Constantza	3,6 +/- 19%	6,2 +/- 14%	8,0 +/- 17%
Tulcea	5,7 +/- 16%	6,7 +/- 13%	8,0 +/- 18%
Cernavoda	5,0 +/- 6%	20,3 +/- 4%	46,2 +/- 4%
Minimum/pays	0,9 +/- 56% (Dr T. Severin)	5,6 +/- 20% (Sibiu)	3,9 +/- 37% (Oradea)
Maximum pays	801 +/- 1% (Toaca, Ceahlau)	1056,0 +/- 1% (Babele, Bucegi)	967,9 +/- 1% (Toaca, Ceahlau)
Moyenne/pays	44,4	99,9	71,9

IV. 2 - Pour les guanos

Trois types de mesures ont été effectuées sur les dépôts de guano : - à partir d'un découpage centimétrique de sondages verticaux dans la masse du dépôt (tabl.3), - à partir d'un découpage de 5 cm (tabl.4) - à partir de prélèvements ponctuels sur des dépôts superficiels (tabl 5).

Tableau 3. Teneurs en Césium des dépôts de guano de Roumanie Centrale en $\text{Bq.kg}^{-1(\text{MS})}$

cm	Adam	Ampoitei 1	Ampoitie 2	P. Lunga	Meziad
0-1cm	34+/-7	1+/-1	0	0	39+/-6
1-2cm	19+/-3	0,2+/-0,3	0	0	64+/-10
2-3cm	43+/-3	3+/-2	0	17+/-21	155+/-3
3-4cm	100+/-6	1+/-2	3+/-7	1+/-2	55+/-19
4-5cm	268+/-34	1+/-1	2+/-4	0	67+/-28
5-6cm	164+/-11	0	0	0	91+/-28
6-7cm	30+/-10	0	3+/-5	34+/-49	24+/-1
7-8cm	92+/-37	6+/-8	0	0	33+/-22
8-9cm	2+/-3	0	0	0	14+/-5
9-10cm	15+/-18	0	0	24+/-21	56+/-14
10-11cm	12+/-12	0	0	6+/-6	26+/-1
11-12cm	10+/-8	0	0	0	15+/-18
12-13cm	1+/-2	0	0	6+/-7	
13-14cm	18+/-12		0,4+/-0,5	0,3+/-0,7	
14-15cm	11+/-10		0	0	
15-16cm	7+/-2		0	0	
16-17cm	7+/-8				
Moyenne	49+/-71				53+/-40

de la grotte d'Adam pour le Banat-Băilă Herculane, 2) les dépôts de la grotte de Méziad pour la Transylvanie, 3) les dépôts de la grotte Liliacelor pour la Dobrodja centrale.

A l'échelle globale, les valeurs maximales mesurées sur chaque coupe sont : 268 Bq.kg⁻¹ (4-5 cm), 155 Bq.kg⁻¹ (2-3 cm), 10 Bq.kg⁻¹ (0-5 cm), 63 Bq.kg⁻¹ (0-5 cm). Ces premiers résultats bruts permettent dès maintenant d'opposer les guanos de la Dobrodja à ceux de la Roumanie centrale. De même que pour les sols, l'Est du pays, selon nos résultats, apparaît donc marqué par une contamination radioactive en césium faible.

Tableau 4 . Teneur en Césium dans les dépôts de guano des grottes de la Dobrodja (en Bq.kg^{-1(MS)}) et comparaison avec la grotte d'Adam (Băilă Herculane)

	Liliacelor (Gura Dobrodgei)	Limanu (1) (2)	Hagieni	Adam
0-5 cm	10+/-2	0 2+/-1	3+/-1	62,8
5-10	6+/-1	0		17,8
10-15	1+/-1	0		8,5
15-20	0	0		0
20-25	1+/-1	0		
30-40		1+/-1		
185-190	0			
190-195	0			

Tableau 5 . Régions de Banat et d'Olténie. Teneurs en ¹³⁷Cs des guanos peu épais des grottes en Bq.kg^{-1(MS)}

Grotte	Site	Espèce	¹³⁷Cs	moyenne/grotte Bq.kg ⁻¹
Bulba	1	P.&G. Murin	273+/-8	
Bulba	2	P.&G. Murin	318+/-7	295+/-32
Closani 1		Rhinolophe	33+/-4	
Closani 2		Rhinolophe	2+/-2	18+/-22
Fuzteica 1		Grand. Murin	59+/-6	
Fuzteica 2 (0-5cm)		Grand. Murin	93+/-4	
Fuzteica 2 (5-10cm)			19+/-4	
Fuzteica 2 (10-15cm)			85+/-44	64+/-33
Hotilor	1	? ?	39+/-3	39+/-3
Izvena	1a (surface)	P.&G. Murin	55+/-8	
Izvena	1b		34+/-1	
Izvena	1c		21+/-5	
Izvena	1d		5+/-4	
Izvena	1e		4+/-2	
Izvena	1f (base)		4+/-1	
Izvena	2	P.&G. Murin	127+/-52	
Izvena	3a	P.&G. Murin	155+/-11	
Izvena	3b		58+/-3	
Izvena	3c		131+/-6	59+/-58
Lazului 1		Rhinolophe	98+/-21	98+/-21
Ponicovei	1	? ?	15+/-1	15+/-1
Sohodol 1a (surface)		P.&G. Murin	166+/-3	
Sohodol 1b			76+/-6	
Sohodol 1c			70+/-6	
Sohodol 1d			73+/-7	
Sohodol 1e			66+/-3	90+/-43
Ungurului	1	Rhinolophe	3+/-2	
Ungurului	2a	Rhinolophe	10+/-3	
Ungurului	2b		34+/-5	16+/-16
Moyenne régionale			77+/-87	

Si l'on compare ces trois valeurs aux moyennes des teneurs en césium des sols des trois régions, soit respectivement : 201, 509 et 44, on constate que :

- les teneurs en césium des dépôts de guano et des sols régionaux sont compatibles et « vont dans le même sens » ;
- les moyennes comparées de la Transylvanie et du Banat sont identiques pour les guanos alors qu'elles vont du simple au double pour les sols ;
- les rapports de la teneur moyenne du guano sur la teneur moyenne des sols pour la Dobrodja et la Transylvanie sont proches de 1/10.

Même s'il ne faut pas attacher une valeur absolue aux chiffres représentant ces teneurs moyennes, compte tenu de la variabilité des teneurs des sols, mais aussi des difficultés d'appréhender la valeur moyenne réelle d'un dépôt de guano (nous verrons plus loin les difficultés qu'elle pose), ces constatations suggèrent un certain nombre de questions et d'hypothèses :

- Les guanos accumulent du césium via le régime alimentaire des Chauves-souris (essentiellement des arthropodes terrestres tant phytophages que prédateurs) ; ce guano est donc d'une certaine manière « représentatif » des milieux qui hébergent l'entomofaune terrestre. L'« échantillonnage » de l'entomofaune auquel les Chauves-souris se livrent au cours de leur recherche de nourriture est donc représentatif des biotopes qu'elles prospectent. A ce titre il existe nécessairement un lien entre le contenu en césium des déjections des Chiroptères et la teneur moyenne des biotopes prospectés. Ce lien (physique) est tel qu'on est en droit de dire que l'échantillonnage effectué par les Chauves-souris est meilleur que celui qu'on pourrait faire en multipliant les échantillons et les analyses sur le même espace (de l'ordre de 150 km₂ pour *Myotis myotis* par exemple, Carbonnel *et al.*, 2000).

- En se fondant sur cette évidence, nos résultats posent un certain nombre de problèmes. Les teneurs des coupes de guano de Transylvanie et du Banat sont quasiment identiques alors que leurs sols sont très différemment contaminés. On peut tenter d'expliquer cette apparente contradiction par la représentativité de notre échantillonnage. Si nous ne revenons pas sur la variabilité spatiale du césium dans les sols, nous nous pencherons plutôt sur l'échantillonnage des dépôts de guano. Aux tableaux 3 et 4 nous avons fait figurer les mesures effectuées sur deux coupes différentes dans le dépôt de la grotte Adam : l'une avec un découpage tous les centimètres, l'autre avec un découpage de 5 cm. Les moyennes respectives sur les quinze premiers centimètres sont de 49±71 Bq.kg⁻¹ et 30±29.Bq.kg⁻¹. Or les coupes effectuées sont proches l'une de l'autre. Le tableau suivant fournit la comparaison des résultats de ces deux types de mesures :

	Adam (1cm)	Adam (5cm)
1-5 cm	92,8±102 (n =5)	62,8 (n =1)
5-10	60,6±67 (n =5)	17,4 (n =1)
10-15	10,4±6 (n =5)	8,5 (n =1)
Moyenne	55±74 (n=15)	30±29 (n =5)

Quelle moyenne est représentative de la valeur moyenne du césium dans le dépôt de guano de la grotte d'Adam ? Ni l'une ni l'autre mais certainement une valeur comprise entre les deux. Il serait donc plus juste de dire qu'il y a de fortes probabilités pour que cette valeur moyenne, caractéristique du milieu, soit *comprise entre 30 et 55 Bq.kg⁻¹*. Le domaine de variation de cette moyenne étant important, il ne faut donc retenir que *l'estimation* que nos mesures suggèrent et non sa valeur absolue.

- Au niveau des dépôts de guano même, nos mesures montrent que le césium n'est pas reparti de façon homogène sur la verticale. En particulier, le maximum des teneurs en Cs n'est jamais, comme on pourrait s'y attendre, en surface mais toujours à quelques centimètres en profondeur. Ce phénomène s'explique par le remaniement continu des dépôts frais de surface par la microfaune guanophage dont on sait qu'elle peut intervenir jusqu'à 5 cm de profondeur. Par ailleurs, on observe aussi dans les coupes analysées une très grande hétérogénéité des teneurs jusqu'à 20 cm de profondeur. Cette hétérogénéité est certainement due à la diffusion du césium par l'urine des Chiroptères qui imprègnent de façon discontinue l'amas de guano. Enfin, le choix du site de prélèvement dans la masse du dépôt (pour la grotte d'Adam, le dépôt couvre environ 100 m₂) joue un rôle car sa représentativité n'est pas sûre à 100%, quand on sait que les Chauves-souris ne couvrent pas cette surface de façon homogène, se regroupant par « essaims » variant continuellement de densité et d'emplacement.

L'ensemble de ces conditions ne permet pas de dire que l'échantillonnage effectué est optimal et qu'il est représentatif de la masse importante du dépôt.

Nos mesures ne fournissent donc qu'une image approximative des conditions de contamination des

dépôts de guano.

- Le tableau 5 présente l'ensemble des mesures de guanos effectuées dans une région relativement bien circonscrite entre Băilă Herculane et Closani où 9 grottes possédant des colonies de Chauves-souris ont été échantillonnées. Tous les guanos sont contaminés à des niveaux divers ; ils ont des teneurs en césium allant de 3 à 318 Bq.kg⁻¹. La moyenne des mesures pour chaque grotte fournit des valeurs allant de 15 à 295 Bq.kg⁻¹. Cette très grande variabilité ne peut guère s'expliquer par la nature des différentes espèces – et donc de leur alimentation spécifique – puisque, par exemple pour les grottes hébergeant des Petits et des Grands Murins, on obtient des valeurs moyennes allant de 90 à 295 Bq.kg⁻¹. et pour celles hébergeant de Rhinolophes ces valeurs sont comprises entre 18 et 98 Bq.kg⁻¹. Or, ces colonies, compte tenu de leur relative proximité entre elles, exploitent certainement des aires de prédation qui se recouvrent. La variabilité du contenu en césium des guanos doit donc être recherchée ailleurs et la seule cause que nous pouvons envisager est celle liée à la méthodologie d'échantillonnage et peut être aussi à une alimentation spécifique pour chaque espèce de Chiroptères.

IV.3 - Pour le site de Ste Ecaterina

Ce site est situé en bordure d'une forêt et jouxte une zone pavillonnaire et agricole. L'ensemble des échantillons a été prélevé dans une rayon de quelques centaines de mètres. On notera, là aussi, au niveau des sols la grande différence de contamination en césium entre ceux se trouvant sous forêt et ceux de plein champs. Il semble en effet que ce soit un phénomène général : pour une même zone, c'est sous couvert forestier que les sols sont les plus contaminés, la forêt étant susceptible de retenir une quantité plus grande de radionucléides au moment de la contamination (Soukhova N., 2000) ; de plus les phénomènes de lessivage et d'érosion y sont moins importants qu'en milieu ouvert.

Au niveau de la flore et de la mycobionte ce sont les mousses qui concentrent le maximum de radionucléides. Si tous les champignons sont contaminés, c'est dans des proportions faibles à très faibles. Des pommes de terre cultivées en plein champs ont fourni des teneurs en césium faibles mais néanmoins détectables (Tabl. 6).

Tableau 6 : Station de St. Ecaterina. Teneurs en césium en Bq.kg⁻¹(MS) de différents éléments de l'écosystème

Sols		
	Sous forêt	330+/-30
	Sous forêt	161+/-17
98-37	Sol bordure	42+/-5
98-38	Sol plein champs	23+/-3
	Litière forêt	35+/-12
Flore et Mycobionta		
	Mousse (0-1m)	1455+/-25
	<i>Fraxinus sp.</i>	526+/-20
	Ecorce <i>Quercus</i>	1+/-0,4
	Sève de <i>Quercus</i>	5+/-3
	Champignons divers	15+/-6
	<i>Fistulina hepatica</i>	5+/-2
	<i>Gradoderma eucidum</i>	16+/-4
	<i>Macrolepiota mastoïdera</i>	9+/-3
	<i>Granoviorma applanitum</i>	3+/-1
	<i>Agaricus naemorrhhoislavius</i>	18+/-5
98-38	Pomme de terre	5+/-3
Coléoptères		
	<i>C.coriaceus</i> (élytres)	16+/-6
	<i>C.coriaceus</i> (corps)	0,5+/-1,6
	<i>Lucanus cervus</i>	10+/-
98-37	<i>L. decemlineata</i> (jardin)	0,3+/-3,8
98-55	<i>L. decemlineata</i> (champs)	3+/-1
98-55	<i>L. decemlineata</i> (larve)	4+/-2
97-sy	<i>Sylpha sp.</i>	29+/-16

Au niveau de l'entomofaune, tous les échantillons analysés contiennent du césium mais en quantité très variable. On notera la différence de teneurs entre les élytres et le reste du corps des *Carabus*, ce qui tendrait à prouver que ce césium est fixé préférentiellement dans la chitine de ces insectes (CARBONNEL, *et al.*, 1997). On notera de même que les *Lucanus cervus* ont des teneurs doubles de celle de la sève des *Quercus* à partir de laquelle ils se nourrissent. On ne peut guère tirer de conclusions de l'ensemble de ces mesures sur l'entomofaune mais seulement observer qu'en quantité plus ou moins importante, tous les insectes analysés contiennent du césium.

L'ensemble de nos mesures sur le site de Ste Ecatérina illustre le fait qu'à partir d'un sol contaminé, même faiblement, c'est l'ensemble des éléments de cet écosystème qui est contaminé. Cette dissémination est le phénomène le plus difficile à contrôler mais aussi à comprendre et à modéliser. Seules des campagnes systématiques de mesures le long de chaînes alimentaires bien individualisées seraient susceptibles de mettre en évidence et les processus physiques et les processus physiologiques qui en sont les causes.

V. CONCLUSIONS

Les campagnes de mesures de césium sur le territoire roumain que nous avons présentées ne prétendent pas fournir une image exacte du degré de contamination radioactive de la région. Mais elles permettent dès maintenant d'avancer :

- que du césium 137 a été détecté dans toutes les zones prospectées;
- que cette contamination touche évidemment préférentiellement les sols et qu'on observe une nette différence entre la partie orientale peu touchée et le reste du pays ;
- que la carte de répartition du césium dans les sols est évidemment superposable à celle des précipitations dans les jours qui ont suivis l'explosion de la centrale de Tchernobyl et il semblerait que ce soient majoritairement les régions élevées qui aient reçu le plus de retombées radioactives ; les phénomènes de lessivage et de transport par érosion ayant peu perturbés depuis treize ans cette répartition à l'échelle régionale ;
- que les guanos de Chauve-souris analysés dans les mêmes zones que celles où ont été prélevés les sols, présentent des teneurs en césium qui reflètent assez bien les différences régionales observées au niveau des sols ;
- que l'interprétation de la variabilité souvent importante des teneurs en césium au sein de ces guanos dans l'espace et le temps n'est pas encore possible tant qu'on ne connaîtra pas mieux les processus d'accumulation et de transfert de cet élément via l'entomofaune qui constitue la nourriture des Chiroptères ; il y a là une voie de recherche originale, peu exploitée jusqu'ici ;
- qu'à partir d'un sol contaminé c'est l'ensemble des éléments vivants des écosystèmes qui se retrouvent contaminés ; apparemment aucun des compartiments biologiques n'est épargné et c'est donc la quasi totalité des chaînes alimentaires qui contribuent à la dissémination des radioéléments dans l'environnement.

Ces conclusions amènent à nous pencher sur le rôle de mémoire que jouent les cavités karstiques. En effet le guano qui s'accumule dans ces cavités peut être considéré comme une véritable « archive sédimentaire » qui enregistre les perturbations chimiques et biologiques de leur environnement immédiat. Ces archives sont précieuses pour la reconstitution de l'histoire de l'environnement et devraient pouvoir faire l'objet de protection et de conservation au même titre que certaines tourbières ou sédiments lacustres. La Roumanie, très riche en cavités karstiques hébergeant de nombreuses colonies de Chiroptères, pourrait devenir, dans cette optique, un laboratoire naturel de recherches particulièrement intéressant à explorer et à étudier.

Abstract

On 1998-1999, a large sampling of soils, bat guano deposits and some biological elements give, at the country scale, a general picture of Chernobyl 137Caesium contamination in Romania. The east part of the country is less contaminated than the central part. This contrast is also present in different bat guano deposits. The elements of flora and fauna have not a high level of Caesium content but their contamination is general. The bat guano deposits in karstic environment are very important « sedimentary records » to knowledge the history of the regional environmental disturbances.

Rezumat

In perioada 1998-1999, un mare numar de esantioane de sol, de dejectii de lilieci si cateva elemente biologice dau, la scara nationala, o imagine generala a contaminarii cu Cesium 137 de la Cernobil, in Romania. Partea de est a tarii este mai putin contaminata decat partea centrala. Acest contrast este de asemenea prezent in diverse depozite de dejectii de lilieci.

in mediul carstic sunt "arhive sedimentare" foarte importante pentru cunoasterea istoriei perturbatiilor mediului inconjurator regional.

Résumé

En 1998 et 1999, un vaste échantillonnage de sols, de guano de Chauves-souris et de divers éléments du compartiment biologique, dont quelques espèces animales, permet, à l'échelle du pays, de fournir une image de la contamination de l'environnement roumain par le 137Cs des retombées de l'accident de Tchernobyl.

L'Est du pays s'oppose à la région centrale par une contamination beaucoup plus importante.

Cette opposition se retrouve au niveau des guanos. Les guanos de Chauves-souris stockés en milieu karstique constituent des "archives sédimentaires" importantes pour la connaissance des perturbations subies par leur environnement.

L'ensemble des compartiments biologiques étudiés présentent des teneurs en caesium qui, pour être faibles, n'en sont pas moins significatives.

BIBLIOGRAPHIE

- CARBONNEL J. P., D. KLEIN et H. PERRIN - 1997 – Les coléoptères, un maillon du transfert des radionucléides dans les chaînes trophiques. Symposium international OM2 « Observation de l'environnement de montagne en Europe », Borovetz (Bulgarie), 15-17 oct. 1997. **Actes Travaux Observatoire de Montagne de Moussala**, 7 (1998), p. 286-291.
- CARBONNEL, J. P., DECU V., OLIVE, PH., POVARA I. ET V. GHEORGHUI - 1996 – Première datation par ^{14}C du remplissage de guano d'une grotte des Carpates méridionales: Pestera lui Adam (Roumanie). **Trav. Inst. Spéol.** « E. Racovitza », XXXV (1996), 1999, p. 145-155.
- CARBONNEL J. P. et D. KLEIN - 1993 – Mesures ponctuelles de la contamination en césium 137 dans les sols du site de l'observatoire de montagne de Moussala (Bulgarie). *Université d'été Sofia-Melnick (Bulgarie)*. Communication orale.
- CARBONNEL J. P., OLIVE, PH., DECU V., GH. ET D. KLEIN - 1999 - Datations d'un dépôt de guano holocène dans les Carpates méridionales (Roumanie). **Comptes Rendu Acad. Sci., Paris**, 328, p. 367-370
- CHEREJI I., DARABAN L., DREVE, S., BOSCANEANU, S., COSMA C. ET E. VARI (1996) – Chernobyl-derived radiocesium in some pharmaceutical plants. **J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters**, 212 (2), p. 85-92
- COLLECTIF - 1995 – Artificial Radioactivity in Romania. *Romanian Soc. for Radiological Protection*, Bucharest.
- COLLECTIF - 1999 - Annual report on environmental radioactivity surveillance in Romania, 1998. *Nat. Comm. for Nuclear Activities Control, General Directorat for Environmental Radioactivity Surveillance*, NCNAC-GDERS, Bucharest 1999, ISSN 1454-7325.
- Cosma C., Pop, I., Cosmuta, I., Micu, C. et S. Rambouiu (1995) – Some aspects of cesium deposition in Transylvania (Romania). **Proceed. Symp. on Radiation protection in Neighbouring countries in Central Europe**, Portoroz (Slovenia), Sept. 4-8, 1995, p. 23-26.
- ISABEY, R., DUVERGER, E., MAKOVICKA, KLEIN, D. et A. CHAMBAUDET - 1995 – Modelisation of gamma germanium detector response in different environmental conditions. **Acta Polytechnica**, 35 (4).
- KLEIN D. (1999 – Development of techniques to investigate in situ the radioactive pollutants in environment. *Workshop « Monitoring of natural and man-made radionucléides and heavy metal waste in environment »*, Dubna (Russie), 2-5 nov. (oral communication).
- POURCHET, M., MELIERES, M.A., SILVESTRU, E., CANDAUDAP, F., CARBONNEL, J. P. et G. RAJKA - 1998 – Radionucléides in cave lake sediment from Ghetarul de Sub Zguraşti (Romania). **Travaux Observatoire de Montagne de Moussala**, fasc. 7.
- RENAUD, Ph. et al. - 1999 – *Conséquences radioécologiques et dosimétriques en France de l'accident de Tchernobyl*. Rapport n° 97-03 de l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire et *Ed. de Physique*, avril 1999.
- SONOC S. - 1992 – Analysis of radionuclide ratios in aerosol sampled during the Chernobyl accident. **Rev. Roum. Phys.**, 37 (1), p. 83-91.
- SONOC, S., OSVATH, I. et C. DOVLETE - 1989 – Gamma eliter radionuclide concentrations in aerosol and deposition sampled during May-June 1986, in Romania. *Meteorol. and Hydrol.*, Special report, p. 13-21.
- SONOC, S., DOVLETE, C., OSCATH, I., ALEXANDRESCU, M. et F. BACIU - 1990 – Evolutia radioactivitatii factorilor de mediu pe teritoriul romaniei in anii 1984-1988.

Masurari Gama spectrometric. *Studii si cercetari de fizici*, 42 (5), p. 435-457.

- SOUKHOVA, N. - 2000 – *Etude de la distribution de ¹³⁷Cs et modélisation des transferts sol-plante dans les écosystèmes forestiers de la région de Briansk fortement contaminés par l'accident de Tchernobyl*. Thèse Science de la Vie, Université de Franche Comté, Juin 2000.
- X - 1991 – *The International Chernobyl Project*.

Technical Report, IAEA 1991, ISBN 92-0-129191-4.

X - 1995 – *Chernobyl, Ten Years on Radiological and Health Impact*. Nuclear Energy Agency NEA-OECD, 1 rapport, November 1995.

X - 1977,1987,1993 – *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. UNSCEAR, Rapports 1997, 1987 et 1993.
