Zeitschrift: Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

Band: - (2001)

Rubrik: Messungen von Spezialnukliden

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 28.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

7. Messungen von Spezialnukliden

7.1. Mesures de plutonium et d'américium dans l'environnement

P. Froidevaux, J.-J. Geering, T. Schmittler, F.Barraud, J.-F. Valley

Institut de radiophysique appliquée
Grand Pré 1, 1007 LAUSANNE

Résumé

L'activité en plutonium et en américium a été mesurée séquentiellement sur des échantillons de sols, de sédiments, d'eau et de filtres à air. Dans les sols (0-5 cm), l'activité en $^{239/240}$Pu est comprise entre 0.1 et 1.9 Bq/kg de masse sèche (MS). L'activité en ^{238}Pu est environ 35 fois inférieure. L'activité en américium est comprise entre 0.04 et 0.8 Bq/kg MS et représente environ 0.44 fois l'activité en $^{239/240}$Pu. Ces rapports isotopiques indiquent que la présence de plutonium et d'américium dans les sols de Suisse est due aux essais d'armes atomiques réalisés en atmosphère dans les années soixante. Dans les sédiments collectés en aval des centrales nucléaires suisses, l'activité en ^{238}Pu est resté en dessous de la limite de détection (< 0.5 mBq/kg). Dans les eaux de rivières et de pluie, l'activité en plutonium et en américium ne dépasse pas 3 mBq/m^3, sauf dans l'estuaire de la Venoge, où l'activité mesurée de 93 Bq/m^3 est due à une forte charge sédimentaire (eau non filtrée). Dans les filtres à air de Fribourg et de Klingnau, l'activité en ^{238}Pu a été supérieure à la limite de détection (4.8 et 1.6 nBq/m^3). Les filtres à air du Weissflujhoch avaient une activité en ^{241}Am de 95 nBq/m^3 alors que l'activité en $^{239/240}$Pu était inférieure à la limite de détection (< 0.2 nBq/m^3). Ces activités sont très faibles (proche de la limite de détection) mais reflètent l'utilisation industrielle de ces radioéléments en Europe (énergie nucléaire, médecine, industrie de la construction, etc...) et illustrent le principe de resuspension de la déposition des années soixante due aux essais d'armes atomiques réalisées dans l'atmosphère. Le profil en plutonium et américium d'un sol du Jura vaudois a été mesuré afin de mettre en évidence le comportement de ces radioéléments dans ce type de sol. La déposition totale ainsi mesurée est de 303±15 Bq/m^2 pour le plutonium et de 130±13 Bq/m^2 pour l'américium.

7.1.1 Introduction

Le plutonium et l'américium appartiennent à un groupe de radioéléments produits artificiellement qui attirent particulièrement l'attention en radioécologie par leur longue période, leur radiotoxicité très élevée et leur long temps de résidence dans les systèmes biologiques. Ces radioéléments ont été introduits dans l'environnement principalement suite aux essais d'armes atomiques réalisés dans l'atmosphère au début des années soixante. D'autres sources sont venues s'ajouter à l'inventaire global des retombées lors de l'utilisation de l'énergie nucléaire et d'accidents impliquant la filière nucléaire (Sellafield, Mayak, Palomares, Chernobyl, etc..), influençant localement les concentrations en plutonium et américium [1].

Tableau 1 Caractéristiques physiques du plutonium et de l'américium

Isotope	Période [ans]	émission
^{239}Pu	24131	Particule α
^{240}Pu	6569	Particule α
^{238}Pu	87.8	Particule α
^{241}Pu	14.35	Particule β
^{241}Am	482	Particule α + γ

Le but de ce travail est d'évaluer la présence de ces radioéléments dans l'environnement en Suisse, d'en attribuer l'origine et d'analyser leur comportement et leur devenir. Pour cela, des sols, des sédiments, de l'eau et des filtres à air ont été analysés. Un profil de sol jusqu'à 40 cm a été déterminé sur le site du Chasseron (Jura vaudois) afin d'observer les phénomènes de migration du plutonium et de l'américium depuis quarante ans. Un chapitre spécial (7.4) est consacré à l'évaluation radiologique aux environs de l'ancienne centrale nucléaire expérimentale de Lucens (VD).

7.1.2 Méthode

La méthode de séparation chimique utilisée en 2001 a été développée à partir de la méthode de EML [2] et adaptée à l'utilisation de la digestion micro-onde d'échantillons. Elle consiste à séparer séquentiellement le plutonium et l'américium sur des résines Dowex AG 1x2 , TRU® et TEVA® et à électodéposer les actinides sur disque d'acier[3]. Les sources sont ensuite mesurées sur une

installation Canberra Alpha Analyst munie de détecteurs PIPS.

La méthode a été testée lors d'intercomparaisons organisées par l'AIEA et PROCORAD [4]. Les résultats pour le plutonium sont toujours dans un intervalle de 2% de la valeur cible. Ils diffèrent d'environ 8% pour l'américium.

7.1.3 Plutonium et américium dans le sol, les sédiments, l'eau et l'air

Plutonium et américium dans les sols

Tous les échantillons ont été analysés pour en déterminer la concentration en plutonium et en américium, exprimée en Bq/kg de matière sèche. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1. La Figure 1 est la représentation graphique des variables faisant intervenir l'activité en ^{238}Pu, en $^{239/240}$Pu et en ^{241}Am d'un échantillon. Dans cette figure, on constate que tous les échantillons mesurés constituent un seul groupe centré sur la valeur (0.44;0.032). Ces coordonnées correspondent aux rapports requis pour attribuer la déposition aux retombées des essais d'armes atomiques réalisés en atmosphère dans les années soixante. Pour ce groupe, les activités en ^{238}Pu, $^{239/240}$Pu et ^{241}Am sont très fortement corrélées (r>0.98). Deux mesures (ZWILAG et CERN) ont donné des résultats légèrement différents de ceux attendus mais les mesures de contrôle ont confirmé qu'aucune contamination n'était présente dans ces échantillons et que ces différences sont d'ordre statistique.

Tableau 2 Plutonium et américium dans le sol en 2001 en Bq/kg mat. sèche (couche de 0 à 5 cm ou spécifiée)

Lieu	$^{239/240}$Pu	^{241}Am	Rapport ^{238}Pu/$^{239/240}$Pu	Rapport ^{241}Am/$^{239/240}$Pu
Centrales nucléaires :				
Mühleberg (BE)	0.18±0.02	0.080±0.008	0.026±0.010	0.45±0.10
Gösgen (SO)	0.29±0.0.02	0.130±0.02	0.033±0.01	0.45±0.08
Leibstadt (AG)	0.23±0.02	0.094±0.010	0.04±0.04	0.41±0.08
Beznau (AG)	0.135±0.010	0.056±0.006	0.041±0.010	0.42±0.06
Sites en plaine :				
Coire (GR)	0.022±0.006	0.010±0.004	< LD	0.45±0.2
Grangeneuve (FR)	0.24±0.02	0.096±0.020	0.027±0.001	0.40±0.10
Arenenberg (TG)	0.253±0.010	0.11±0.02	0.034±0.010	0.43±0.10
Fahrni (BE)	0.41±0.02	0.130±0.02	0.022±0.006	0.31±0.04
ZWILAG	0.123±0.010	0.080±0.006	0.041±0.010	0.651±0.08
ZWILAG (mesure de contrôle)	0.178±0.010	0.082±0.001	0.029±0.010	0.46±0.06
CERN	0.180±0.010	0.098±0.010	0.024±0.010	0.54±0.08
CERN (Booster)	0.154±0.010	0.065±0.006	0.031±0.010	0.42±0.06
Rodi (TI)	0.27±0.02	0.123±0.010	0.033±0.010	0.45±0.06
Sessa (TI)	0.58±0.04	0.240±0.010	0.035±0.010	0.41±0.04
Sites en altitude :				
Diesse (BE)	0.42±0.02	0.180±0.010	0.030±0.008	0.43±0.04
Allmendhubel (BE)	1.33±0.10	0.55±0.02	0.028±0.010	0.41±0.04
Gimmelwald (BE)	0.68±0.06	0.293±0.020	0.025±0.010	0.42±0.04
Intragna (TI)	1.85±0.20	0.71±0.04	0.030±0.010	0.38±0.04
Davos (GR)	0.621±0.04	0.300±0.010	0.034±0.001	0.48±0.08
Chasseron (Ju/VD), 0-5 cm	1.31±0.06	0.58±0.10	0.030±0.004	0.44±0.08
Chasseron (Ju/VD), 5-10 cm	1.65±0.06	0.73±0.06	0.031±0.004	0.44±0.04
Chasseron (Ju/VD), 10-20 cm	0.74±0.04	0.28±0.02	0.031±0.006	0.38±0.04
Chasseron (Ju/VD), 20-30 cm	0.21±0.010	0.075±0.020	0.034±0.010	0.36±0.10
Chasseron (Ju/VD), 30-40cm	0.092±0.008	0.058±0.02	0.049±0.02	0.63±0.20
Nouvelle Censière (Ju/NE) 0-5 cm	0.80±0.04	0.36±0.02	0.026±0.008	0.45±0.04
Nouvelle Censière (Ju/NE) 5-10 cm	0.94±0.04	0.34±0.04	0.029±0.004	0.37±0.06

^{241}Am/$^{239/240}$Pu = 0.44±0.06 (moyenne suisse, n = 30)
^{238}Pu/$^{239/240}$Pu = 0.032±0.006 (moyenne suisse, n = 30)
Les intervalles d'incertitude sur les rapports sont reportés en 2σ, pour un intervalle de confiance de 95%.

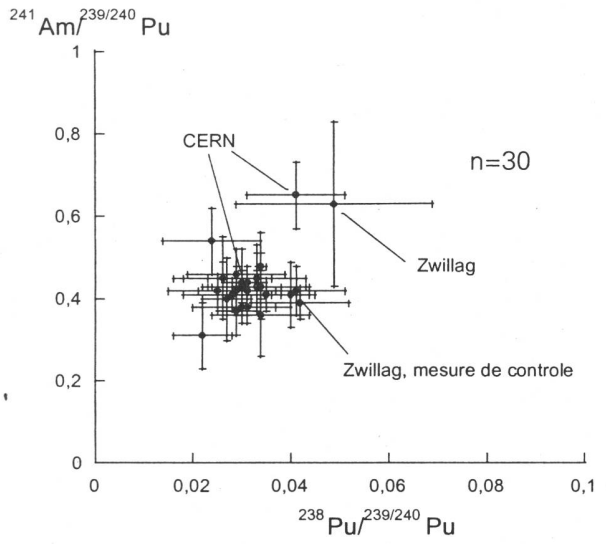

Figure 1 : Analyse multi-variables des échantillons de sols et de sédiments collectés et mesurés pour les isotopes ^{238}Pu, $^{239/240}$Pu et ^{241}Am, en 2001. Les barres d'erreur sur les rapports sont reportées en 2σ, pour un intervalle de confiance de 95%.

Plutonium et américium dans les sédiments

La collecte d'échantillons de sédiments de surface en aval d'une centrale est un moyen simple et efficace de déterminer l'impact de celle-ci sur l'environnement aquatique. La détermination de l'activité en actinides dans les plantes aquatiques est également une excellente manière de contrôler le fonctionnement des installations nucléaires. Par exemple, les radioéléments tels que ^{90}Sr, américium, plutonium, ^{137}Cs et ^{244}Cm ont tous été détectés dans les plantes aquatiques et les algues des réservoirs de refroidissement des installations nucléaires du site de Savannah River, aux Etats-Unis [5]. L'origine du plutonium des sédiments de la mer d'Irlande est attribuée par Mitchell et al. [6] aux décharges liquides de Sellafield par l'observation d'un rapport ^{238}Pu/$^{239/240}$Pu de 0.2 environ. Des radioéléments tels que le césium, le plutonium et l'américium s'adsorbent fortement sur les particules des sédiments. Choppin et al. [7] estiment que la majorité du plutonium déposé suite aux essais d'armes atomiques est actuellement incorporée aux sédiments des fonds océaniques.

Lors des mesures effectuées en 2001 sur les sédiments et un échantillon de plantes aquatiques des rivières en aval des centrales nucléaires suisses, aucune contamination provenant des centrales nucléaires n'a été mise en évidence. Le rapport moyen ^{241}Am/$^{239/240}$Pu est de 0.45±0.1, typique des retombées des essais nucléaires. L'activité des sédiments en actinides artificiels provient donc du lessivage des sols du bassin versant des rivières.

Tableau 3 Concentration (Bq/kg) en plutonium et en américium dans des sédiments en 2001

Centrales nucléaires	Période de prélèvement	$^{239/240}$Pu	Rapport ^{238}Pu/$^{239/240}$Pu	^{241}Am	Rapport ^{241}Am/$^{239/240}$Pu
Aval de Mühleberg Hagneck	31.01-28.02.01	0.108±0.002	^{238}Pu < LD	0.045±0.020	0.42±0.2
Plantes aquatiques		< 0.003		< 0.003	
Aval de Gösgen et de Beznau Lac de Klingnau	31.01-28.02.01	0.056±0.004	^{238}Pu < LD	0.027±0.01	0.47±0.2
Aval de Leibstadt Pratteln	31.01-28.02.01	0.019±0.004	^{238}Pu < LD	0.009±0.001	0.47±0.06

LD ^{238}Pu : < 5E-04

^{238}Pu , $^{239/240}$Pu et ^{241}Am dans l'air

Conformément au plan annuel de prélèvement, l'activité en plutonium et en américium a été déterminée sur des filtres à air pour deux sites en plaine (Fribourg et Mühleberg) et en montagne (Weissfluhjoch). La durée du prélèvement s'étend sur une année car l'activité de ces deux radionucléides dans l'air est très faible et provient, en situation normale, de la resuspension [8]. La mesure des filtres à haut débit de Klingnau a été ajoutée au plan de mesure.

Les résultats montrent que les activités ne dépassent pas quelques nBq/m^3. Toutefois, le ^{238}Pu a été mesuré à deux reprises au-dessus de la limite de détection et l'américium dépasse 90 nBq/m^3 au Weissfluhjoch, indiquant la présence, en très faibles traces, de ces radioéléments dans l'air. Il est difficile de déterminer s'il s'agit d'une activité due à la resuspension ou à une introduction ponctuelle de ces radioéléments dans l'air car la mesure a été effectuée sur une collection de filtres représentant l'année entière.

Tableau 4 Concentration en plutonium et en américium dans l'air

Emplacement	Année	Activité (nBq/m^3)		
		$^{239/240}$Pu	^{238}Pu	^{241}Am
Fribourg	2001	< 0.08	4.8±1.5	4.9±0.8
Weissfluhjoch	2001	< 0.2	< 0.2	95±6
Klingnau	2001	1.01±0.09	1.6±0.2	1.2±0.4
Mühleberg	2001	<0.07	<0.07	< 0.07

En utilisant un facteur d'inhalation de $6.9 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq pour $^{239/240}$Pu (Cf. ORaP), un volume d'air de 2 l par inspiration et une fréquence respiratoire de 15 par minute, la dose annuelle pour une activité de 10 nBq/m^3 ne représente que quelques nSv, soit une très petite fraction de la dose due au rayonnement naturel. Par comparaison, la dose annuelle due au ^{222}Rn, gaz radioactif naturel, atteint pratiquement 1.6 mSv, ce gaz étant présent avec une moyenne de 75 Bq/m^3 dans l'air des maisons en Suisse [9].

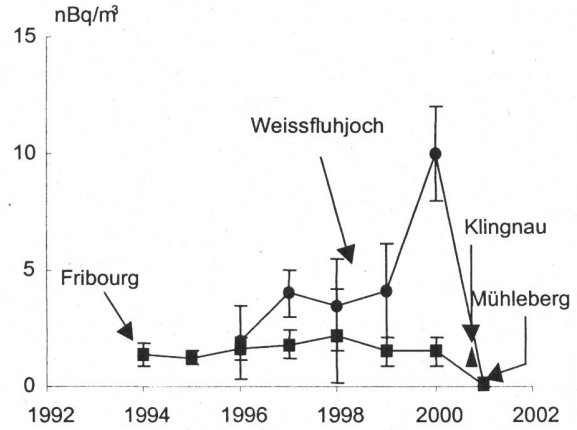

Figure 2 Activité en $^{239/240}$Pu des filtres à air en plaine et en montagne. Les barres d'erreurs sur les valeurs sont reportées en 2 σ, pour un intervalle de confiance de 95%.

Concentration de plutonium et d'américium dans les eaux

Les mesures ont été effectuées sur des eaux de rivière (Rhône, Rhin, Venoge et Broye) et des eaux de pluie (Fribourg et Mühleberg). Une mesure a été effectuée sur l'eau de ruissellement du site de l'ancienne centrale nucléaire expérimentale de Lucens (cf chap. 7.4). La méthode de préconcentration est l'évaporation de fractions prélevées chaque semaine sur toute l'année (Chancy, Fribourg et Mühleberg, env. 150 l) la précipitation d'hydroxydes de fer sur des prélèvements mensuels (Rhin, 90 l) et la précipitation d'oxyde de manganèse dans des volumes de 200 l d'eau (Venoge, Lucens, Broye).

L'activité dans les eaux de pluie est due à la resuspension de particules de sol sur lesquelles les actinides sont adsorbés. Dans l'eau des rivières, elle représente l'activité des actinides en suspension dans la partie sédimentaire ou attachée aux colloïdes organiques. Ce cas est particulièrement bien mis en évidence dans le cas de la Venoge, pour laquelle l'activité en plutonium et en américium est inférieure à la limite de détection dans un prélèvement à la source de la rivière alors que l'activité en plutonium dépasse 90 mBq/m^3 dans un prélèvement effectué dans l'estuaire de la rivière. Dans ce cas, l'activité est fonction de la charge sédimentaire, de plusieurs grammes pour 200 l d'eau dans l'estuaire de la Venoge et pratiquement nulle à la source de la rivière.

Les activités en $^{239/240}$Pu des eaux de pluie sont tout à fait comparables à celles obtenues par Sanchez et al. [10] dans une étude des dépôts atmosphériques en Espagne, entre 1992 et 1996, et qui étaient comprises entre 2 et 20 mBq/m^3.

La mesure de l'activité des isotopes de l'uranium a été réalisée dans 4 échantillons de 200 l d'eau de rivière et de ruissellement. Les résultats indiquent une activité en uranium de plusieurs ordres de grandeur supérieurs aux activités des actinides artificiels. Les rapports isotopiques ^{238}U/^{234}U sont significatifs de l'uranium naturel (R compris entre 0.75 et 0.9).

Tableau 5 Concentration en plutonium et en américium dans l'eau de pluie et de rivière en mBq/m^3.

Type d'eaux	Lieu de prélèvement	$^{239/240}$Pu	^{241}Am	^{238}U	^{235}U	^{234}U
eau de fleuve	Rhin (Pratteln)	2.8±1	< 1.0			
eau de fleuve	Rhône (Chancy)	2.9±1	4.0±0.4			
eau de pluie	Fribourg	< 0.2	17.0±2			
eau de pluie	Mühleberg	1.6±0.8	1.0±0.4			
eau de rivière	Venoge (source)	< 1.0	< 1.0.	1600±600	< 200	2120±800
eau de rivière	Venoge (estuaire)	93±12	27±15	13900±1100	600±60	14900±1200
eau de rivière	Broye (Lucens)	< 1.0	< 1.0	4700±1400	210±20	5750±1500
Eau de ruissellement	Lucens, chambre de contrôle	5.3±1.5	2.6±0.6	38900±6000	1700±200	50700±8000

7.1.4 Profil d'un sol du Jura

Un profil de sol a été prélevé dans le Jura vaudois (Chasseron, 1300m) afin de mesurer la déposition surfacique de plutonium, d'américium, de ^{137}Cs et de ^{90}Sr. Celle-ci se calcule en fonction de l'activité massique selon l'équation (1) :

$$A[\mathrm{Bq/m^2}] = \sum_i A_m \cdot \rho \cdot \Delta h_i \qquad (1)$$

avec A_m, l'activité massique en Bq/kg pour la section d'épaisseur Δh et de masse volumique ρ. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 6 Déposition surfacique de plutonium, américium, ^{137}Cs et ^{90}Sr.

Radioélément	Déposition en [Bq/m^2]
$^{239/240}$Pu	303±15
^{241}Am	130±13
^{137}Cs	17208±600
^{90}Sr	3450±270

Le rapport entre la déposition de plutonium et d'américium est de 0.43±0.04 et est très caractéristique des retombées des essais nucléaires, de même que le rapport ^{90}Sr/$^{239/240}$Pu de 11.4±1.0. Par contre, la déposition totale en Bq/m^2 est environ 4 fois supérieure à celle observée sur le plateau Suisse, où des valeurs de 75 Bq/m^3 en $^{239/240}$Pu sont habituellement mesurées [11].

L'analyse de la Figure 3 permet de conclure que le plutonium et l'américium migrent ensemble dans le sol et que, sur une durée de quarante ans, il n'y a pas de grandes différences de comportement entre ces deux éléments fortement adsorbés sur des particules de sol. Le ^{90}Sr présente des caractéristiques différentes, avec une plus grande mobilité, puisque le maximum de concentration est obtenue dans la tranche 10-20 cm, contre 5-10 cm pour le plutonium et l'américium.

La Figure 3 montre également clairement que le ^{137}Cs suit les actinides dans les couches de 5 à 40 cm mais présente une activité plus élevée qu'attendue dans la couche 0-5 cm. Dans cette couche, l'impact de l'accident de la centrale nucléaire de Chernobyl est clairement visible. Cizdiel et al. [12] proposent l'équation (2) pour estimer la contribution autre que celle des retombées des essais d'armes atomiques à l'activité mesurée d'un échantillon.

$$[\mathrm{Cs}]_N = [\mathrm{Cs}]_m - (\mathrm{Cs/Pu})_G\,[\mathrm{Pu}]_m \qquad (2)$$

avec $[\mathrm{Cs}]_m$ l'activité en ^{137}Cs mesurée dans l'échantillon, $(\mathrm{Cs/Pu})_G$ le rapport entre le césium et le plutonium provenant des retombées (global fallout) et $[\mathrm{Pu}]_m$ l'activité en plutonium mesurée dans l'échantillon. Cette relation n'est valable que si la nouvelle déposition ne contient pas de plutonium, ce qui est le cas pour l'impact de l'accident de Chernobyl en Suisse. Le rapport $(\mathrm{Cs/Pu})_G$ provenant des retombées et reporté à la date du 06.06.2001 est de 31.7 [12]. Dans le tableau 5 figure la contribution calculée de Chernobyl sur l'activité en ^{137}Cs dans le sol du Jura. On constate d'emblée que, contrairement à une opinion largement répandue dans le public, la contribution majeur de l'activité en ^{137}Cs de ce sol reste les retombées des essais d'armes atomiques.

Profondeur [cm]	Cs total [Bq/kg]	Cs Chernobyl [Bq/kg]	% Cs Chernobyl
0-5	121±2	79.1±8	65
5-10	94±2	41.2±4	44
10-20	26±1	2.32±0.2	9
20-30	6.8±0.5	0.08±0.01	1
30-40	3.1±0.3	0.16±0.05	5

Sur l'inventaire global de la déposition en ^{137}Cs de 17208 Bq/m^2 de ce sol, on détermine que 7512 Bq/m^2 provient de l'accident de Chernobyl, soit un peu moins de 44 %. Toutefois, dans la couche supérieure du sol (0-5 cm), le ^{137}Cs provient à 65 % de l'accident de Chernobyl.

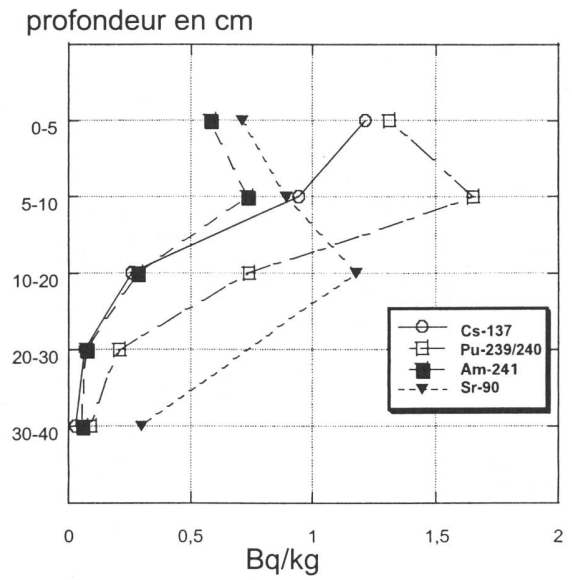

Figure 3 Profil d'un sol du Jura vaudois. Pour faciliter la comparaison des résultats, l'activité en ^{137}Cs a été divisée par 100, celle du ^{90}Sr par 10.

7.1.5 Conclusions

Les mesures des activités en $^{239/240}$Pu, ^{238}Pu et ^{241}Am ont été effectuées sur tous les échantillons présentés dans ce rapport. L'analyse multivariables nécessite la mesure de plusieurs radioéléments sur un même échantillon mais permet de mettre en évidence des anomalies qui resteraient sans cela cachées, justifiant l'investissement dans ces mesures. Les résultats obtenus en 2001 permettent de conclure à l'absence de contamination de l'environnement en Suisse par d'autres sources que les retombées des essais d'armes atomiques réalisés dans les années soixante et de l'impact de l'accident de la centrale nucléaire de Chernobyl, en avril 1986.

L'étude plus approfondie d'un site du Jura vaudois montre que le plutonium et l'américium migrent lentement et ensemble dans les couches profondes du sol. Toutefois, après une période de quarante ans, l'essentiel de l'inventaire est encore présent dans les dix premiers centimètres du sol. Le strontium migre plus rapidement, le maximum d'activité étant présent dans la couche 10-20 cm. Concernant l'inventaire global du ^{137}Cs dans le sol du Jura, seulement 45 % de celui-ci provient de l'accident de la centrale de Chernobyl ce qui nous permet de conclure que la radioactivité de l'environnement en Suisse est encore sous forte influence des essais d'armes atomiques effectuées dans l'atmosphère dans les années soixante.

7.1.6 Bibliographie

[1] Lee, M.H., Lee, C.W. in « Plutonium in the Environment », p. 329-345. Edited proceeding of the second invited international symposium, Kudo ed., Elsevier Amsterdam 2001.

[2] Berne, A. ; in « Americium in soil », Environmental Laboratory Methods, March 1996, 201 Varick St. ; N.Y. USA..

[3] Froidevaux, P., Geering, J.-J., Vallley, J.-F., Plutonium and Americium in the Swiss Environment, Eichrom's users group meeting, Paris, 7th December 1998.

[4] PROCORAD, Association for the Promotion of Quality Control of Analyses in Medical Radiobiology, Commissariat à l'Energie Atomique(CEA), Bureau du Conseiller Medical DRHRS/CM, 31-33 rue de la Fédération, 75752 Paris Cedex 15 France.

[5] Hinton, T.G., Pinder III, J.E.. in « Plutonium in the Environment », p. 413-435. Edited proceeding of the second invited international symposium, Kudo ed., Elsevier Amsterdam 2001.

[6] Mitchell,P.I., Downes, A.B., Vontro, L.L., McMahon, C.A., in « Plutonium in the Environment », p. 175-200. Edited proceeding of the second invited international symposium, Kudo ed., Elsevier Amsterdam 2001.

[7] Choppin, G.R., Wong, P., *Aquat. Geochem., 4*, **1998**, 77-101

[8] Garcia-Olivares, A., Iranzo, C.E., *J. Environ. Radioactivity, 37*, **1997**, 101-114.

[9] Murith, C., Gurtner, A., *Radioprotection, 34*, **1999**, 37-46.

[10] Rubio Montero, M.P., Martin Sanchez, A., *Appl. Rad. Isot. 55*, **2001**, 103-108.

[11] Bundt, M.; Albrecht, A.; Froidevaux, P.; Blaser, P.; Flühler, H.; *Environ.Sci.Technol., 34*, **2000**, 3895-3899.

[12] Cizdziel, J.; Hodge, V.; Faller, S.; *Health Phys. 77*, **1999**, 67-75.