

4.7

Radioactivité du sol et de l'herbe

P.-A. Pittet, C. Pilloud, P. Froidevaux, F. Barraud, A. Bonnin, M. Straub
Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

S. Estier, P. Steinmann, A. Gurtner

Section de surveillance de la radioactivité, URA / OFSP, Berne

A. Pregler

Laboratoire Cantonal de Bâle, Kannenfeldstr. 2, Basel

R. Gosteli, S. Röllin, S. Kradolfer, R. Althaus, H. Sahli, M. Astner, M. Stauffer

Labor Spiez, Office fédéral de la protection de la population, Spiez

Résumé

Nous avons prélevé des échantillons de sol (0-5 cm) et d'herbe sur différents sites en Suisse, notamment aux abords des centrales nucléaires, et mesuré leurs niveaux d'activité. Dans certains cas, des mesures de spectrométrie gamma in-situ ont également été réalisées. Les résultats montrent que l'activité artificielle dans le sol et l'herbe est restée faible et est principalement due aux retombées des essais d'armes atomiques réalisées en atmosphère jusque dans les années soixante ainsi qu'aux retombées de l'accident de Tchernobyl.

Introduction

Le ^{90}Sr et le ^{137}Cs ont été largement dispersés dans l'environnement à la suite des essais nucléaires des années soixante. Une dissémination supplémentaire de ^{137}Cs a été causée par l'accident de Tchernobyl en 1986. Ces radioéléments sont les deux principaux produits de fission à durée de vie moyenne (environ 30 ans) et ont un comportement chimique proche de deux éléments impliqués dans les cycles vivants, le calcium (pour le strontium) et le potassium (pour le césium). Par exemple, le ^{90}Sr est facilement transféré du sol aux plantes, puis tout au long de la chaîne alimentaire, et pourra finalement se trouver dans les tissus osseux [1] et les dents [2]. La mesure du ^{90}Sr dans des échantillons de sol, d'herbe, de céréale, de lait, de vertèbre et de dents de lait est effectuée en Suisse depuis les années soixante. La figure 4 du chapitre 1.1 illustre l'évolution des moyennes annuelles obtenues depuis plus de soixante ans pour chaque type d'échantillon correspondant à un compartiment de l'environnement. Après avoir atteint des valeurs maximales au milieu des années soixante, une décroissance continue de l'activité en ^{90}Sr est observée depuis l'arrêt des essais nucléaires atmosphériques. L'utilisation de ces données expérimentales a permis de montrer que les demi-vies biologiques de ce

radioélément dans chacun des compartiments étaient très similaires, avec demi-vie moyenne de 13.1 ± 2 ans [3]. Le ^{137}Cs va aussi passer du sol aux végétaux et rejoindre la chaîne alimentaire. Au contraire du ^{90}Sr , il se retrouvera principalement dans les tissus musculaires des vertébrés et sera éliminé plus rapidement que le strontium.

Résultats et discussion

Les résultats des mesures pour les sols sont présentés dans le tableau 1. La présence du ^{90}Sr et des actinides Pu et Am est principalement due aux retombées des essais nucléaires atmosphériques des années soixante. Cette déposition ayant été amenée au sol par les précipitations, les régions connaissant une pluviosité plus importante montrent les activités les plus élevées. Ainsi, les activités en ^{90}Sr sont dans une gamme de 0.3 à 0.7 Bq/kg sur le plateau suisse tandis que des valeurs supérieures à 1 Bq/kg peuvent être observées au Tessin ou sur les sites alpins. La même tendance est observée pour les actinides, avec des activités inférieures à 0.21 Bq/kg pour le plutonium et à 0.09 Bq/kg pour l'américium sur le plateau suisse et des valeurs plus élevées pour les sites en altitude, notamment

à Mürren, ainsi qu'à Stabio au sud des Alpes. Les rapports $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ (voir le chapitre 7.2, mesures de plutonium et d'américium) confirment que cette contamination est due aux essais nucléaires des années soixante. Les données collectées pendant les 25 dernières années montrent que les activités en plutonium ont diminué, avec une demi-vie apparente de 19 ± 5 ans pour les sites de plaine et une période de 10 et 9 ans pour 2 sites de prélèvement en altitude (chapitre 7.2).

La situation est plus complexe dans le cas du ^{137}Cs , car le passage du nuage radioactif émis lors de l'accident de Tchernobyl en 1986 a provoqué une déposition supplémentaire dont la répartition géographique n'est pas uniforme. De fortes précipitations s'étant produites au Tessin lors du passage du nuage, c'est dans cette région que les dépôts les plus importants ont eu lieu et où sont mesurées actuellement les plus fortes activités (jusqu'à 224 Bq/kg). Le passage du nuage de Tchernobyl a également touché le nord-est de la Suisse, les valeurs relevées à Arenenberg (24.8 Bq/kg) et Güttingen (18.2 Bq/kg) étant supérieures à celles obtenues sur les autres sites du plateau suisse (5 à 10 Bq/kg). Toutes les activités mesurées sont toutefois restées dans les valeurs usuellement observées et en constante décroissance depuis l'accident de Tchernobyl ainsi qu'illustré par la figure 3 du chapitre 1.1. Pour le ^{60}Co et le ^{134}Cs , deux radioéléments produits artificiellement dans les réacteurs nucléaires, aucune activité supérieure à la limite de détection n'a été décelée. Enfin, c'est pour le ^{40}K , un des trois isotopes constituant le potassium naturel, que l'activité mesurée est la plus élevée. Ces résultats, obtenus par des mesures effectuées en laboratoire, sont en accord avec les mesures in-situ (voir aussi le chapitre 3.1), qui permettent une évaluation directe de la présence des émetteurs gamma tels le ^{137}Cs .

Les mesures de radioactivité dans l'herbe sont rapportées dans le tableau 2. On constate que la radioactivité de l'herbe est dominée par le ^{40}K , suivi du ^7Be , qui est formé par l'action du rayonnement solaire sur les couches supérieures de l'atmosphère. Les activités en ^{60}Co et ^{134}Cs sont restées inférieures à la limite de détection. L'activité en ^{90}Sr de l'herbe peut varier fortement selon la période de coupe pour un même site de prélèvement, l'incorporation de certains éléments (Ca, K) et radioéléments (^{137}Cs et ^{90}Sr) étant dépendante de la croissance végétale [4]. Toutefois, l'activité en ^{90}Sr de l'herbe est principalement fonction de celle du sol, les valeurs les plus importantes étant observées en altitude (0.6 - 5.6 Bq/kg) et au Tessin (0.9 - 5.3 Bq/kg), tandis que pour les échantillons collectés sur le plateau, les activités en ^{90}Sr ne dépassent pas 1.1 Bq/kg.

Les activités en ^{137}Cs les plus élevées sont mesurées au Tessin, tandis que les valeurs mesurées sur les autres sites sont soit inférieures à 1.5 Bq/kg soit non quantifiables.

En 2022, un échantillon de sol non cultivé et marécageux prélevé à Coglio avait montré un marquage au ^{90}Sr et ^{137}Cs caractéristique du sud des Alpes. Aucun échantillon d'herbe n'ayant été collecté en 2022, un prélèvement d'herbe et de sol a été effectué en 2023 sur le même lieu. Lors de la mesure de spectrométrie gamma in-situ (chapitre 3.1), il est apparu que le sol du champ cultivé limitrophe montrait une activité en ^{137}Cs beaucoup plus faible. Un autre prélèvement de sol et d'herbe a été effectué dans ce champ cultivé et se situait à une distance d'environ 25 m du premier site. Les résultats de la mesure en laboratoire du ^{137}Cs et ^{90}Sr du sol non cultivé étaient identiques pour les prélèvements effectués en 2022 et 2023 tandis que le marquage en ^{137}Cs et ^{90}Sr était d'un ordre de magnitude plus faible pour le sol cultivé prélevé en 2023. Les aspects physiques de ces deux sols étaient également significativement différents, le non cultivé étant décrit comme une terre très noire et granuleuse (perte de masse de 15% lors de la calcination) tandis que le cultivé apparaissait comme une terre grise et très légère (perte de masse de 5% lors de la calcination). Les compositions de ces deux sols sont donc clairement distinctes et leur utilisation est clairement différente. La présence de dépôts d'alluvions hétéroclites par la rivière Maggia très proche ne peut également être exclue. En l'absence de l'historique des événements liés à ces deux sols, il est impossible de trouver une explication à ces disparités mais cela montre que des sites très proches peuvent avoir des marquages significativement différents. Pour les herbes collectées sur ces 2 sols, les résultats obtenus n'ont pas montré de différence significative.

Conclusions

Les mesures de la radioactivité dans les sols et les herbes en Suisse en 2023 présentent des valeurs similaires aux années précédentes. Aucune augmentation d'activité n'a été constatée, ni aux abords des centrales nucléaires, ni dans les sites de référence. Les sites de montagne et certains sites du Tessin présentent des activités en ^{90}Sr et en ^{137}Cs supérieures à celles mesurées sur les sites du plateau, centrales nucléaires incluses. Un marquage assez important en ^{137}Cs dans des échantillons de sol et d'herbe de certains sites de prélèvement du Tessin et de Suisse orientale est encore observé plus de trente ans après l'accident de Tchernobyl.

Tableau 1:

Activités en ^{40}K , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , Pu et Am dans des sols (0-5 cm) prélevés en Suisse en 2023 (Bq/kg matière sèche, fraction < 2 mm).

Canton / Lieu	n	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
AG (Voisinage KKB)	2	422 ± 35	0.6	0.5	4.9 ± 1.7	0.62 ± 0.15	0.149 ± 0.012 m = 2 ³⁾	0.068 ± 0.006 m = 3 ³⁾
AG (KKB in-situ)	2	307 ± 22			7.9 ± 1.1			
AG (PSI)	1	395 ± 31	0.5	0.4	9.1 ± 0.8	0.33 ± 0.08	0.148 ± 0.010	0.063 ± 0.006 m = 2 ³⁾
AG (PSI in-situ)	1	273 ± 28			5.2 ± 0.7			
AG (ZWILAG)	1	410 ± 33	0.8	0.6	9.1 ± 1.0	0.40 ± 0.09	0.171 ± 0.011	0.077 ± 0.007 m = 3 ³⁾
AG (ZWILAG in-situ)	1	324 ± 34			6.2 ± 0.8			
AG (Vois. KKL)	4	390 ± 31	0.7	0.6	10.4 ± 3.0	0.66 ± 0.15	0.195 ± 0.018	0.080 ± 0.007 m = 2 ³⁾
AG (KKL in-situ)	4	317 ± 8			7.8 ± 1.8			
AG/SO (Vois. KKG)	4	459 ± 71	0.8	0.6	8.1 ± 1.1	0.47 ± 0.11	0.208 ± 0.014	0.087 ± 0.007 m = 2 ³⁾
AG/SO (KKG in-situ)	4	364 ± 65			5.7 ± 0.7			
BE (Voisinage KKM)	7	681 ± 67	0.9	0.7	6.7 ± 2.1	0.49 ± 0.11	0.190 ± 0.013	0.072 ± 0.006 m = 3 ³⁾
BE (KKM in-situ)	7	548 ± 74			5.4 ± 1.7			
BE (Mürren) ¹⁾	1	420 ± 36	< 0.4	< 0.4	36 ± 4.4	2.68 ± 0.40	1.56 ± 0.04	0.74 ± 0.10
BE (Gimmelwald)	1	313 ± 26.6	< 0.4	< 0.5	10.3 ± 1.3	2.45 ± 0.40	0.40 ± 0.01	0.20 ± 0.06
BE (Fahrni) ²⁾	1	430 ± 36	< 0.4	< 0.4	9.1 ± 1.1	1.62 ± 0.40	0.41 ± 0.01	0.22 ± 0.05
BE (Diesse/Jura)	1	470 ± 40	< 0.4	< 0.5	11 ± 1.4	0.98 ± 0.19	0.38 ± 0.01	0.17 ± 0.04
BL (Sissach)	1	555 ± 25	< 0.03	< 0.04	15.7 ± 0.7	4.93 ± 1.97		
FR (Posieux)	1	403 ± 31	0.6	0.6	5.0 ± 0.7	0.37 ± 0.10	0.195 ± 0.015	0.079 ± 0.006 m = 3 ³⁾
FR (Posieux in-situ)	1	373 ± 38			3.5 ± 0.6			
GE (Vois. CERN)	5	426 ± 60	0.8	0.6	4.9 ± 1.7	0.31 ± 0.08	0.111 ± 0.014 m = 2 ³⁾	0.050 ± 0.007 m = 2 ³⁾
GE (CERN in-situ)	5	330 ± 11			2.5 ± 1.0			
TG (Arenenberg)	1	409 ± 32	0.5	0.4	24.8 ± 2.0	0.51 ± 0.12	0.125 ± 0.010	0.048 ± 0.006
TG (Arenenberg in-situ)	1	336 ± 35			15.6 ± 1.7			
TG (Güttingen)	1	349 ± 26	0.4	0.4	18.2 ± 1.5	0.30 ± 0.07	0.168 ± 0.013	0.081 ± 0.008 m = 2 ³⁾
TG (Güttingen in-situ)	1	255 ± 27			9.9 ± 1.1			
TI (Centovalli)	1	507 ± 24	< 0.8	< 0.1	195.0 ± 8.7	6.80 ± 2.72		
TI (Prato Leventina)	1	554 ± 29	< 0.1	< 0.1	13.6 ± 7.6	5.11 ± 2.04		
TI (Sessa)	1	408 ± 20	< 0.1	< 0.1	51.5 ± 2.2	4.13 ± 1.65		
TI (Cadenazzo)	1	675 ± 50	0.8	0.7	48.8 ± 3.8	0.76 ± 0.16	0.131 ± 0.013	0.059 ± 0.007 m = 2 ³⁾
TI (Cadenazzo in-situ)	1	554 ± 57			37.0 ± 3.9			
Ti (Caslano)	1	580 ± 42	0.5	0.5	71.3 ± 5.4			
Ti (Caslano in-situ)	1	652 ± 57			40.0 ± 4.2			
TI (Coglio), non cultivé	1	618 ± 32	< 0.8	< 0.8	224 ± 10.6	3.56 ± 0.70		
TI (Coglio in situ), non cultivé	1	580 ± 59			99 ± 10.0			
TI (Coglio), cultivé	1	831 ± 41	< 0.7	< 0.9	18.5 ± 1.0	0.32 ± 0.09		
TI (Coglio in situ), cultivé	1	697 ± 75			18.0 ± 2.6			
TI (Stabio)	1	601 ± 47	1.0	0.8	166 ± 13	0.95 ± 0.21	0.573 ± 0.034 m = 2 ³⁾	0.275 ± 0.018 m = 2 ³⁾
TI (Stabio in-situ)	1	548 ± 56			122 ± 12			

n = nombre d'échantillons; ¹⁾ alpage (Allmendhubel, 1'900 m); ²⁾ bord des Alpes (850 m); ³⁾ m = moyenne pour m analyses, détails dans chapitre 7.2 plutonium et américium dans l'environnement.

Remarque: les résultats des mesures in situ sont représentatifs de l'activité moyenne du sol sur une surface d'environ 300 m², alors que les mesures en laboratoire permettent la détermination précise de l'activité du sol au point de prélèvement.

Tableau 2 :

Activité en ^7Be , ^{40}K , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs et ^{90}Sr dans des échantillons d'herbe prélevés en Suisse en 2023 lors de deux saisons (printemps et automne) de coupe (Bq/kg de matière sèche).

Canton/Lieu	n	^7Be	^{40}K	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr
AG (Voisinage KKB)	4	182 ± 35	762 ± 186	< 2.0	< 1.3	< 1.3	0.35 ± 0.09 ³⁾ 0.74 ± 0.15 ⁴⁾
AG (PSI)	2	164 ± 32	623 ± 57	< 1.1	< 1.0	1.5 ± 1.0	0.34 ± 0.08 ³⁾ 0.65 ± 0.15 ⁴⁾
AG (ZWILAG)	2	219 ± 13	587 ± 159	< 1.3	< 1.1	< 1.0	0.51 ± 0.12 ³⁾ 1.04 ± 0.21 ⁴⁾
AG (Voisinage KKL)	8	198 ± 84	698 ± 224	< 1.8	< 1.3	1.1 ± 0.3	0.72 ± 0.15 ³⁾ 0.61 ± 0.13 ⁴⁾
AG/SO (Voisinage KKG)	8	180 ± 38	865 ± 273	< 1.7	< 1.3	1.0 ± 0.2	0.42 ± 0.12 ³⁾ 0.80 ± 0.16 ⁴⁾
BE (Voisinage KKM)	8	183 ± 36	781 ± 166	< 2.0	< 1.5	1.3 ± 1.2	0.23 ± 0.06 ³⁾ 0.77 ± 0.17 ⁴⁾
BE (Lauterbrunnen)	1	151 ± 24	526 ± 45	< 0.4	< 0.3	< 0.3	1.2 ± 0.2 ³⁾
BE (Mürren) ¹⁾	1	262 ± 38	893 ± 76	< 0.5	< 0.3	< 0.3	5.6 ± 0.7 ³⁾
BE (Gimmelwald)	1	190 ± 28	810 ± 70	< 0.5	< 0.3	< 0.5	2.3 ± 0.3 ³⁾
BE (Fahrni) ²⁾	2	239 ± 34	1150 ± 97	< 0.5	< 0.3	< 0.4	1.6 ± 0.1 ³⁾ 2.25 ± 0.23 ⁴⁾
BE (Diesse/Jura)	2	170 ± 24	1340 ± 113	< 0.5	< 0.4	< 0.4	0.80 ± 0.12 ³⁾ 0.57 ± 0.06 ⁴⁾
BL (Sissach)	1	32 ± 4	868 ± 46	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.71 ± 0.28
FR (Posieux)	1	173 ± 13	775 ± 249	< 1.8	< 1.3	< 1.3	0.58 ± 0.12 ³⁾
GE (Voisinage CERN)	4	230 ± 37	770 ± 261	< 1.6	< 1.1	< 0.9	0.83 ± 0.17 ⁴⁾
TG (Güttingen)	1	141 ± 26	997 ± 33	< 1.3	< 1.1	< 0.9	0.36 ± 0.08 ³⁾
Ti (Centovalli)	1	120 ± 10	276 ± 19	< 0.2	< 0.2	12.1 ± 0.9	5.27 ± 2.11
Ti (Prato Leventina)	1	147 ± 11	778 ± 38	< 0.2	< 0.2	0.5 ± 0.29	0.85 ± 0.34
Ti (Sessa)	1	310 ± 20	951 ± 51	< 0.2	< 0.2	1.2 ± 0.3	7.56 ± 3.02
Ti (Cadenazzo)	1	396 ± 361	740 ± 202	< 1.3	< 1.0	2.1 ± 1.4	2.44 ± 0.48 ³⁾
Ti (Coglio, non cultivé)	1	69 ± 20	1'387 ± 100	< 5.0	< 3.0	< 3.0	1.46 ± 0.31
Ti (Coglio, cultivé)	1	393 ± 40	917 ± 67	< 4.0	< 4.0	< 4.0	1.22 ± 0.25
Ti (Stabio)	1	86 ± 10	978 ± 74	< 1.2	< 1.0	1.4 ± 0.4	1.97 ± 0.40

n = nombre d'échantillons; ¹⁾ alpage (Allmendhubel); ²⁾ bord des Alpes, 850 m ; ³⁾ coupe de printemps; ⁴⁾ coupe d'automne.

Références

- [1] Froidevaux, P. et al., Retention half times in the skeleton of plutonium and ^{90}Sr from above ground nuclear tests: A retrospective study of the Swiss population. *Chemosphere* 2010, 80, 519
- [2] Froidevaux, P.; Geering, J.-J.; Valley, J.-F. ^{90}Sr in deciduous teeth from 1950 to 2002: The Swiss experience. *Sci. Total Environ.* 2006, 367, 596
- [3] Froidevaux, P. et al., Radionuclides in the Environment in Switzerland: A Retrospective Study of Transfer from Soil to the Human Body. *Chimia* 2020, 74, 984-988.
- [4] Froidevaux, P. et al., chap. 4.6 de Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse, 2005, OFSP.