

4.7

Radioactivité du sol et de l'herbe

P-A. Pittet, P. Froidevaux, F. Barraud, L. Pfefferlé, F. Bochud

Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

S. Estier, P. Steinmann, A. Gurtner

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

M. Zehringer, A. Pregler

Laboratoire Cantonal de Bâle, Kannenfeldstr. 2, Basel

M. Burger, S. Rölli, R. Holzer, H. Sahli, M. Astner

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.

Une attention particulière a été apportée au site de la centrale de Mühleberg, dont le fonctionnement a été stoppé à fin 2019. Les prélèvements ont été effectués sur sept sites et ont fait l'objet d'analyses indépendantes pour le strontium-90 (^{90}Sr), le plutonium et l'américium. Cela permettra de mettre en évidence une éventuelle contamination de l'environnement lors des opérations de démantèlement.

Introduction

Le ^{90}Sr et le ^{137}Cs ont été largement dispersés dans l'environnement suite aux essais nucléaires des années soixante ainsi que lors de 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 et les dents [1]. 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.

Le transfert d'un radioélément entre deux compartiments de l'environnement, par exemple du sol à l'herbe, peut être caractérisé par le facteur de transfert. Ce paramètre est cependant dépendant de plusieurs variables, telles que la nature des compartiments (type de sol et espèce de la plante), la concentration des autres éléments compétiteurs (Ca et K) ainsi que la progression de la croissance végétale, cette dernière étant notablement affectée par les conditions météorologiques (température, pluviosité) [2,3,4].

Une surveillance régulière des installations nucléaires a été mise en place depuis le début de leur exploitation et la situation radiologique de leur voisinage est bien connue. Toutefois, un programme de surveillance renforcé a débuté en 2017 pour la centrale de Mühleberg [5] qui a été mise à l'arrêt à fin 2019. Ce programme comprend l'analyse indépendante de chaque échantillon provenant des 7 sites de prélèvement. Ceci permettra d'estimer l'impact radiologique éventuel des travaux de démantèlement.

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 0.1 à 0.6 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 0.3 Bq/kg pour le plutonium et à 0.15 Bq/kg pour l'américium sur le plateau suisse, alors que ces valeurs augmentent avec l'altitude, le point de prélèvement le plus élevé (alpage de l'Allmendhubel) montrant les activités les plus importantes. Les rapports $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ proches de 0.46 (voir le chapitre 7.2, mesures de plutonium et d'américium) confirment que cette contamination est due aux essais nucléaires des années soixante.

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 que les plus fortes activités sont toujours mesurées. 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 observée. Enfin, c'est pour le ^{40}K , un des trois isotopes constituant le potassium naturel, que l'activité observée est la plus élevée.

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'interaction du rayonnement cosmique (protons), produit en particulier par le soleil, avec 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 de l'herbe est principalement fonction de celle du sol, les valeurs les plus importantes étant observées au Tessin ou en altitude, tandis que pour les échantillons collectés sur le plateau, les activités en ^{90}Sr ne dépassent pas 3 Bq/kg. La même tendance est observée pour le ^{137}Cs , dont les activités les plus élevées sont mesurées au Tessin.

Le programme renforcé de surveillance du voisinage de la centrale de Mühleberg, avec une analyse distincte pour 7 sites de prélèvement, a débuté en 2017. Les mesures de 2017 et 2018 ont montré que pour les sols, les activités en ^{90}Sr , Pu et Am étaient dans la gamme des valeurs observées pour les sols prélevés sur le plateau, les différences observées d'un site à l'autre illustrant la disparité du dépôt consécutif aux essais nucléaires et potentiellement certaines activités agricoles, comme le labourage en profondeur. Les nouvelles mesures effectuées pour les échantillons collectés en 2019 (Tableau 3) confirment ces résultats, avec les activités les plus faibles pour Niederruntingen. L'activité en ^{90}Sr des herbes est du niveau de celle observée pour les autres échantillons collectés sur le plateau suisse (Tableau 2). Un rapport spécifique sur l'ensemble des résultats des mesures réalisés par les différents instituts impliqués dans ce programme renforcé 2017-2019 au voisinage de la centrale de Mühleberg sera publié en 2020.

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 2019
(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	420 ± 32	< 0.7	< 0.6	13.6 ± 1.1	0.44 ± 0.08	0.167 ± 0.016	0.079 ± 0.007
AG (KKB in-situ)	2	346 ± 36			9.9 ± 1.3			
AG (PSI)	1	380 ± 41	< 0.7	< 0.6	9.8 ± 0.6	0.38 ± 0.08	0.135 ± 0.015	0.055 ± 0.005
AG (PSI in-situ)	1	322 ± 33			7.2 ± 0.9			
AG (ZWILAG)	1	409 ± 14	< 0.9	< 0.7	11.1 ± 0.8	0.61 ± 0.09	0.170 ± 0.015 0.172 ± 0.014	0.080 ± 0.009 0.073 ± 0.006
AG (ZWILAG in-situ)	1	349 ± 36			8.4 ± 1.0			
AG (Vois. KKL)	4	395 ± 21	< 0.7	< 0.6	11.0 ± 0.6	0.29 ± 0.07	0.188 ± 0.017	0.074 ± 0.008
AG (KKL in-situ)	4	345 ± 36			8.2 ± 1.0			
AG/SO (Vois. KKG)	4	439 ± 23	< 0.7	< 0.6	11.0 ± 0.6	0.48 ± 0.09	0.235 ± 0.021 0.235 ± 0.015	0.099 ± 0.018 0.109 ± 0.007
AG/SO (KKG in-situ)	4	366 ± 38			8.4 ± 1.0			
BE (Voisinage KKM) ¹⁾	7	645 ± 35	< 0.7	< 0.6	8.0 ± 0.5	0.45 ± 0.15 ⁴⁾	0.148 ± 0.055 ⁵⁾	0.069 ± 0.025 ⁶⁾
BE (KKM in-situ) ¹⁾	7	526 ± 54			5.8 ± 0.8			
BE (Mürren) ²⁾	1	550 ± 47	< 0.3	< 0.3	9.4 ± 1.1	2.3 ± 0.3	0.37 ± 0.01	0.15 ± 0.04
BE (Gimmelwald)	1	311 ± 26	< 0.2	< 0.3	14.6 ± 1.8	3.1 ± 0.5	0.61 ± 0.02	0.22 ± 0.05
BE (Fahrni) ³⁾	1	440 ± 37	< 0.2	< 0.3	10.8 ± 1.3	2.8 ± 0.5	0.43 ± 0.01	0.20 ± 0.05
BE (Diesse/Jura)	1	450 ± 39	< 0.3	< 0.3	13.2 ± 1.6	1.0 ± 0.2	0.45 ± 0.01	0.16 ± 0.04
BL (Sissach)	1	472 ± 15	-	< 0.1	15.0 ± 1.0	3.4 ± 0.7		
FR (Posieux)	1	413 ± 45	< 0.5	< 0.7	5.1 ± 0.8	0.46 ± 0.12	0.180 ± 0.018 0.210 ± 0.013	0.088 ± 0.021 0.087 ± 0.006
FR (Posieux, in-situ)	1	329 ± 34			3.6 ± 0.6			
GE (Vois. CERN)	5	436 ± 46	< 0.6	< 0.5	5.7 ± 0.7	0.13 ± 0.04	0.110 ± 0.009 0.112 ± 0.010	0.049 ± 0.006 0.043 ± 0.008
GE (CERN in-situ)	5	357 ± 39			3.3 ± 0.6			
TG (Arenenberg)	1	429 ± 45	< 0.6	< 0.5	17.6 ± 1.9	0.56 ± 0.09	0.127 ± 0.015 0.122 ± 0.011	0.061 ± 0.008 0.053 ± 0.006
TG (Arenenberg in-situ)	1	384 ± 40			15.8 ± 1.7			
TG (Güttingen)	1	316 ± 34	< 0.7	< 0.6	16.7 ± 1.8	0.56 ± 0.08	0.175 ± 0.019 0.166 ± 0.015	0.087 ± 0.009 0.075 ± 0.008
TG (Güttingen in-situ)	1	294 ± 31			13.5 ± 1.5			
TI (Centovalli)	1	762 ± 26		< 0.3	121.0 ± 4.0	9.4 ± 1.9		
TI (Prato Leventina)	1	504 ± 21		< 0.3	29.0 ± 1.0	5.7 ± 1.2		
TI (Malcantone)	1	365 ± 14		< 0.2	157.0 ± 5.0	6.1 ± 1.2		
TI (Cadenazzo)	1	673 ± 70	< 0.6	< 0.6	81.0 ± 8.2	1.02 ± 0.12	0.127 ± 0.018 0.118 ± 0.010	0.078 ± 0.011 0.052 ± 0.006 0.061 ± 0.008
TI (Cadenazzo – In-situ)	1	573 ± 59			54.5 ± 5.6			
Ti (Caslano)	1	605 ± 63	< 0.7	< 0.6	23.1 ± 2.4	0.33 ± 0.08	0.116 ± 0.017 0.121 ± 0.013 0.122 ± 0.010	0.066 ± 0.008 0.050 ± 0.006 0.059 ± 0.007
Ti (Caslano – in-situ)	1	589 ± 60			27.3 ± 2.9			
TI (Stabio)	1	634 ± 66	< 0.6	< 0.5	94.5 ± 9.5	0.40 ± 0.08 0.40 ± 0.07	0.431 ± 0.033 0.433 ± 0.028	0.200 ± 0.016 0.198 ± 0.012
TI (Stabio – In situ)	1	550 ± 56			61.0 ± 6.2			

n = nombre d'échantillons;

¹⁾ avec 3 nouveaux sites de collecte d'échantillons depuis 2017 pour la surveillance du démantèlement;

²⁾ alpage (Allmendhubel, 1'900 m); ³⁾ Préalpes (850 m).

⁴⁾ Valeur moyenne et écart-type pour 7 analyses. ⁵⁾ Valeur moyenne et écart-type pour 15 analyses. ⁶⁾ Valeur moyenne et écart-type pour 14 analyses.

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 2019 lors de deux saisons 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	293 ± 32	683 ± 74	< 1.2	< 1.1	<1.2	0.45 ± 0.05 ⁴⁾ 0.89 ± 0.10 ⁵⁾
AG (PSI)	2	364 ± 39	733 ± 81	< 0.8	< 0.8	<0.8	0.58 ± 0.07 ⁴⁾ 0.75 ± 0.08 ⁵⁾
AG (ZWILAG)	2	326 ± 36	742 ± 83	< 2.3	< 1.7	<0.9	0.72 ± 0.09 ⁴⁾ 1.50 ± 0.15 ⁵⁾
AG (Voisinage KKL)	8	377 ± 40	725 ± 78	< 1.2	< 1.1	1.0 ± 0.5	0.71 ± 0.08 ⁴⁾ 1.52 ± 0.17 ⁵⁾
AG/SO (Voisinage KKG)	8	249 ± 28	813 ± 88	< 1.5	< 1.1	<1.3	0.66 ± 0.07 ⁴⁾ 1.68 ± 0.17 ⁵⁾
BE (Voisinage KKM) ¹⁾	14	278 ± 31	889 ± 96	< 1.5	< 1.1	<1.3	0.47 ± 0.22 ⁴⁾ 1.27 ± 0.63 ⁵⁾
BE (Lauterbrunnen)	1	8 ± 2	450 ± 40	< 0.4	< 0.3	0.5 ± 0.1	1.12 ± 0.13
BE (Mürren) ²⁾	1	420 ± 65	980 ± 83	< 0.4	< 0.3	<0.3	2.46 ± 0.29
BE (Gimmelwald)	1	143 ± 23	720 ± 61	< 0.4	< 0.3	0.4 ± 0.1	2.23 ± 0.26
BE (Fahrni) ³⁾	2	353 ± 50	1'115 ± 95	< 0.4	< 0.3	<0.4	1.64 ± 0.19 ⁴⁾ 0.94 ± 0.11 ⁵⁾
BE (Diesse/Jura)	2	235 ± 35	1'080 ± 96	< 0.4	< 0.3	<0.3	0.39 ± 0.05 ⁴⁾ 2.76 ± 0.32 ⁵⁾
BL (Sissach)	1	220 ± 9	725 ± 27		< 0.2	<0.2	0.64 ± 0.13
GE (Voisinage CERN)	4	101 ± 13	607 ± 68	< 1.4	< 1.1	<1.3	1.36 ± 0.13 ⁵⁾
FR (Posieux)	2	163 ± 19	1'045 ± 113	< 1.6	< 1.2	<1.3	0.59 ± 0.08 ⁴⁾ 1.14 ± 0.13 ⁵⁾
TG (Güttingen)	2	171 ± 21	786 ± 87	< 1.8	< 1.3	<1.4	0.92 ± 0.10 ⁴⁾ 0.65 ± 0.11 ⁵⁾
TI (Centovalli)	1	415 ± 15	720 ± 23		< 0.1	44.0 ± 2.0	1.83 ± 0.37
TI (Prato Leventina)	1	59 ± 2	566 ± 19		< 0.7	0.4 ± 0.1	0.07 ± 0.01
TI (Malcantone)	1	118 ± 6	624 ± 22		< 0.2	1.6 ± 0.3	1.02 ± 0.15
TI (Cadenazzo)	2	222 ± 24	926 ± 99	< 1.0	< 0.8	<0.8	0.24 ± 0.06 ⁴⁾ 5.31 ± 0.41 ⁵⁾ 5.77 ± 0.47 ⁵⁾
Ti (Stabio)	1	41 ± 6	714 ± 77	< 1.0	< 0.9	0.9 ± 0.4	1.36 ± 0.13 ⁵⁾

n = nombre d'échantillons; ¹⁾ avec 3 nouveaux sites de collecte d'échantillons depuis 2017, programme renforcé pour la surveillance du démantèlement; ²⁾ alpage (Allmendhubel); ³⁾ Préalpes, 850 m; ⁴⁾ coupe de printemps; ⁵⁾ coupe d'automne.

Tableau 3:

Activités en ^{90}Sr , Pu et Am dans des sols (0 - 5 cm, fraction < 2 mm) et en ^{90}Sr dans les herbes, prélevés en 2019 sur sept sites autour de Mühleberg (Bq/kg matière sèche).

Site	$^{239} + ^{240}\text{Pu}$	^{241}Am	^{90}Sr (sol)	^{90}Sr (herbe)	
				printemps	automne
Rewag	0.146 ± 0.017 0.182 ± 0.013	0.084 ± 0.014 0.077 ± 0.007	0.43 ± 0.09	0.21 ± 0.04	0.88 ± 0.11
Salvisberg	0.155 ± 0.015 0.159 ± 0.015 0.163 ± 0.011	0.064 ± 0.010 0.077 ± 0.007	0.34 ± 0.08	0.40 ± 0.06	2.37 ± 0.22
Ufem Horn	0.143 ± 0.015 0.164 ± 0.012	0.067 ± 0.011 0.073 ± 0.006	0.61 ± 0.12	0.69 ± 0.09	1.89 ± 0.17
Niederruntigen	0.053 ± 0.009 0.063 ± 0.008 0.070 ± 0.008	0.042 ± 0.011 0.028 ± 0.003 0.030 ± 0.006	0.18 ± 0.05	0.43 ± 0.07	0.59 ± 0.14
Oberruntigen	0.226 ± 0.022 0.244 ± 0.016	0.097 ± 0.007 0.119 ± 0.011	0.55 ± 0.09	0.75 ± 0.10	1.14 ± 0.12
Fuchsenried	0.116 ± 0.014	0.051 ± 0.006	0.51 ± 0.09	0.61 ± 0.06	1.13 ± 0.15
Clôture KKW	0.158 ± 0.022 0.182 ± 0.013	0.070 ± 0.006 0.093 ± 0.009	0.55 ± 0.11	0.23 ± 0.04	0.87 ± 0.11
Plateau suisse (min-max) ¹⁾	0.053 - 0.244	0.028 - 0.119	0.13 - 0.61	0.45 - 0.92	0.65 - 1.68

¹⁾ Selon les tableaux 1 et 2.

Conclusions

Les mesures de la radioactivité dans les sols et les herbes en Suisse en 2019 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.

Le programme de surveillance renforcé de la centrale de Mühleberg a été poursuivi dans le but de détecter un éventuel impact des travaux de démantèlement.

Références

- [1] voir chapitre «Mesures de ^{90}Sr , de ^{210}Po et de ^{226}Ra dans les vertèbres et de ^{90}Sr dans les dents de lait».
- [2] Ehlken, S., Kirchner, G. Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review. *J Environ Radioact.* 2002, 58, 97–112.
- [3] Guillaume, T. et al., Disparity in ^{90}Sr and ^{137}Cs uptake in Alpine plants: phylogenetic effect and Ca and K availability. *Plant Soil* 2012, 355, 29–39.
- [4] Froidevaux, P. et al., chap. 4.6 de «Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse», 2005, OFSP.
- [5] Estier, S. et al., chap. 3.1 de «Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnement en Suisse», 2017, OFSP.

Chapitre / Kapitel 4

Environnement Umwelt

2019

- Aérosols et précipitations
- URAnet Aero
- Surveillance de l'air avec des avions militaires
- Systèmes aquatiques, URAnet Aqua
- Tritium dans l'Aar
- Eaux potables
- Sols et herbe
- Aérosol und Niederschlag
- URAnet Aero
- Überwachung der Luft mit Militärflugzeugen
- Aquatische System, URAnet Aqua
- Tritium in der Aare
- Trinkwasser
- Boden und Gras