

Chapitre

Kapitel

4

Environnement

Umwelt

Aérosols et précipitations

URAnet Aero

Surveillance de l'air avec des avions militaires

Radioactivité dans les systèmes aquatiques

URAnet Aqua

Tritium dans l'Aar

Sols et herbes

Aerosol und Niederschlag

URAnet Aero

Überwachung der Luft mit Militärflugzeugen

Aquatische System

URAnet Aqua

Tritium in der Aare

Boden und Gras

2021

# 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

**M. Burger, S. Röllin, 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.

### Introduction

Le  $^{90}\text{Sr}$  et le  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{90}\text{Sr}$  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 3 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  $^{90}\text{Sr}$  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 une valeur moyenne de  $13.1 \pm 2$  ans [3]. Le  $^{137}\text{Cs}$  va aussi passer du sol aux végétaux et rejoindre la chaîne alimentaire. Au contraire du  $^{90}\text{Sr}$ , 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  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{90}\text{Sr}$  sont dans une gamme de 0.2 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 0.12 Bq/kg pour l'américium sur le plateau suisse, des valeurs plus élevées pour les sites en altitude, et une activité maximale relevée à Stabio au sud des Alpes. Les rapports  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  proches de 0.41 (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  $^{137}\text{Cs}$ , 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 (19 à 172 Bq/kg). Le passage du nuage de Tchernobyl a également touché le nord-est de la Suisse, les valeurs relevées à Arenenberg (20.1 Bq/kg) et Güttingen (14.5 Bq/kg) étant supérieures à celle obtenues sur les autres sites du plateau suisse (5 à 13 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 2 du chapitre 1.1. Pour le  $^{60}\text{Co}$  et le  $^{134}\text{Cs}$ , 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  $^{40}\text{K}$ , un des trois isotopes constituant le potassium naturel, que l'activité mesurée 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  $^{40}\text{K}$ , suivi du  $^7\text{Be}$ , qui est formé par l'action du rayonnement solaire sur les couches supérieures de l'atmosphère. Les activités en  $^{60}\text{Co}$  et  $^{134}\text{Cs}$  sont restées inférieures à la limite de détection. L'activité en  $^{90}\text{Sr}$  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 ( $^{137}\text{Cs}$  et  $^{90}\text{Sr}$ ) étant dépendante de la croissance végétale [4]. Toutefois, l'activité en  $^{90}\text{Sr}$  de l'herbe est principalement fonction de celle du sol, les valeurs les plus importantes étant observées en altitude et surtout au Tessin (21.5 Bq/kg), tandis que pour les échantillons collectés sur le plateau, les activités en  $^{90}\text{Sr}$  ne dépassent pas 1.5 Bq/kg. La même tendance est observée pour le  $^{137}\text{Cs}$ , dont les activités les plus élevées sont mesurées au Tessin.

## Conclusions

Les mesures de la radioactivité dans les sols et les herbes en Suisse en 2021 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  $^{90}\text{Sr}$  et en  $^{137}\text{Cs}$  supérieures à celles mesurées sur les sites du plateau, centrales nucléaires incluses. Un marquage assez important en  $^{137}\text{Cs}$  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.

## Références

- [1] Froidevaux, P. et al., Retention half times in the skeleton of plutonium and  $^{90}\text{Sr}$  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.  $^{90}\text{Sr}$  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.

**Tableau 1:**

Activités en  $^{40}\text{K}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , Pu et Am dans des sols (0-5 cm) prélevés en Suisse en 2021  
(Bq/kg matière sèche, fraction < 2 mm).

Canton / Lieu	n	$^{40}\text{K}$	$^{60}\text{Co}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$
AG (Voisinage KKB)	2	444 ± 33	< 0.5	< 0.5	12.7 ± 1	0.28 ± 0.10	0.185 ± 0.018 0.175 ± 0.014	0.077 ± 0.006 0.069 ± 0.006
AG (KKB in-situ)	2	310 ± 23			8.1 ± 0.7			
AG (PSI)	1	347 ± 38	< 0.7	< 0.7	8.8 ± 1.1	0.19 ± 0.07	0.142 ± 0.015 0.140 ± 0.012	0.049 ± 0.006 0.055 ± 0.005
AG (PSI in-situ)	1	258 ± 27			5.1 ± 0.7			
AG (ZWILAG)	1	426 ± 45	< 0.6	< 0.6	9.0 ± 1.1	0.35 ± 0.10	0.160 ± 0.010	0.074 ± 0.006
AG (ZWILAG in-situ)	1	308 ± 32			6.3 ± 0.8			
AG (Vois. KKL)	4	398 ± 21	< 0.8	< 0.7	12.7 ± 0.7	0.59 ± 0.14	0.201 ± 0.017 0.197 ± 0.014	0.078 ± 0.007 0.080 ± 0.010
AG (KKL in-situ)	4	299 ± 15			7.5 ± 0.5			
AG/SO (Vois. KKG)	4	402 ± 21	< 0.8	< 0.7	11.5 ± 0.7	0.51 ± 0.12	0.233 ± 0.023 0.260 ± 0.016	0.106 ± 0.007 0.115 ± 0.012
AG/SO (KKG in-situ)	4	283 ± 15			6.4 ± 0.4			
BE (Voisinage KKM)	7	668 ± 26	< 0.7	< 0.6	7.2 ± 0.3	0.33 ± 0.10	0.151 ± 0.016 0.150 ± 0.013	0.060 ± 0.006 0.051 ± 0.007
BE (KKM in-situ)	7	538 ± 21			5.6 ± 0.3			
BE (Mürren) <sup>1)</sup>	1	495 ± 21	< 0.3	< 0.4	11.8 ± 0.8	1.8 ± 0.4	0.38 ± 0.01	0.40 ± 0.05 <sup>3)</sup>
BE (Gimmelwald)	1	313 ± 14	< 0.3	< 0.3	11.0 ± 0.7	2.7 ± 0.6	0.61 ± 0.03	0.37 ± 0.03 <sup>3)</sup>
BE (Fahrni) <sup>2)</sup>	1	446 ± 19	< 0.3	< 0.3	12.4 ± 0.8	2.5 ± 0.7	0.56 ± 0.02	0.35 ± 0.03 <sup>3)</sup>
BE (Diesse/Jura)	1	455 ± 20	< 0.3	< 0.3	12.7 ± 0.8	0.9 ± 0.2	0.45 ± 0.02	0.23 ± 0.03 <sup>3)</sup>
BL (Sissach)	1	546 ± 26	< 0.2	< 0.2	16.5 ± 0.9	4.79 ± 0.96		
FR (Posieux)	1	381 ± 41	< 0.7	< 0.6	5.4 ± 0.8	0.37 ± 0.10	0.204 ± 0.022 0.194 ± 0.015	0.080 ± 0.008 0.068 ± 0.010
FR (Posieux in-situ)	1	315 ± 33			3.5 ± 0.5			
GE (Vois. CERN)	5	437 ± 21	< 0.9	< 0.7	5.8 ± 0.3	0.20 ± 0.06	0.108 ± 0.011	0.039 ± 0.006
GE (CERN in-situ)	5	393 ± 18			4.0 ± 0.3			
TG (Arenenberg)	1	396 ± 42	< 0.5	< 0.5	20.1 ± 2.1	0.59 ± 0.15	0.174 ± 0.010	0.072 ± 0.006
TG (Arenenberg in-situ)	1	316 ± 33			13.9 ± 2.0			
TG (Güttingen)	1	369 ± 39	< 0.5	< 0.5	14.5 ± 1.5	0.34 ± 0.08	0.155 ± 0.009	0.058 ± 0.005
TG (Güttingen in-situ)	1	259 ± 27			11.0 ± 1.1			
TI (Centovalli)	1	417 ± 22	< 0.2	< 0.2	66.7 ± 3.4	6.45 ± 1.29		
TI (Prato Leventina)	1	502 ± 27	< 0.2	< 0.2	18.8 ± 1.1	2.51 ± 0.50		
TI (Sessa)	1	670 ± 36	< 0.2	< 0.2	63.7 ± 3.4	4.72 ± 0.94		
TI (Cadenazzo)	1	675 ± 72	< 1.0	< 0.9	75.8 ± 7.8	0.79 ± 0.18	0.120 ± 0.009	0.052 ± 0.005
TI (Cadenazzo in-situ)	1	525 ± 54			42.9 ± 4.5			
Ti (Caslano)	1	612 ± 64	< 0.6	< 0.6	69.5 ± 7.1			
Ti (Caslano in-situ)	1	525 ± 54			48.8 ± 5.0			
TI (Stabio)	1	646 ± 67	< 0.6	< 0.6	172 ± 17.3	0.64 ± 0.16	0.567 ± 0.026	0.323 ± 0.015
TI (Stabio in-situ)	1	584 ± 60			135 ± 19.2			

n = nombre d'échantillons;

<sup>1)</sup> alpage (Allmendhubel, 1'900 m);

<sup>2)</sup> bord des Alpes (850 m);

<sup>3)</sup> méthode non accréditée

Remarque: Les résultats des mesures in situ sont représentatifs de l'activité moyenne du sol sur une surface d'environ 300 m<sup>2</sup>, alors que les mesures en laboratoire permettent la détermination précise de l'activité du sol au point de prélèvement.

**Tableau 2 :**

Activité en  $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{90}\text{Sr}$  dans des échantillons d'herbe prélevés en Suisse en 2021 lors de deux saisons (printemps et automne) de coupe (Bq/kg de matière sèche).

Canton/Lieu	n	$^7\text{Be}$	$^{40}\text{K}$	$^{60}\text{Co}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
AG (Voisinage KKB)	4	162 ± 11	691 ± 39	< 1.1	< 1.1	< 1.1	0.35 ± 0.08 <sup>3)</sup> 0.63 ± 0.14 <sup>4)</sup>
AG (PSI)	2	307 ± 27	413 ± 34	< 1.1	< 1.1	0.9 ± 0.5	0.34 ± 0.08 <sup>3)</sup> 0.85 ± 0.19 <sup>4)</sup>
AG (ZWILAG)	2	207 ± 18	741 ± 58	< 1.1	< 1.1	< 1.1	0.55 ± 0.12 <sup>3)</sup> 0.79 ± 0.19 <sup>4)</sup>
AG (Voisinage KKL)	8	175 ± 7	660 ± 27	< 1.1	< 1.1	1.4 ± 0.2	0.61 ± 0.13 <sup>3)</sup> 0.80 ± 0.17 <sup>4)</sup>
AG/SO (Voisinage KKG)	8	163 ± 8	799 ± 32	< 1.1	< 1.1	0.7 ± 0.4	0.38 ± 0.10 <sup>3)</sup> 0.78 ± 0.18 <sup>4)</sup>
BE (Voisinage KKM)	8	134 ± 7	845 ± 33	< 1.1	< 1.1	0.7 ± 0.5	0.42 ± 0.12 <sup>3)</sup> 0.40 ± 0.09 <sup>3)</sup> 1.02 ± 0.21 <sup>4)</sup>
BE (Lauterbrunnen)	1	12 ± 2.3	516 ± 46	< 0.4	< 0.3	1.1 ± 0.2	1.10 ± 0.10
BE (Mürren) <sup>1)</sup>	1	341 ± 54	891 ± 77	< 0.4	< 0.3	< 0.2	2.90 ± 0.30
BE (Gimmelwald)	1	186 ± 29	637 ± 55	< 0.3	< 0.2	0.2 ± 0.1	1.90 ± 0.20
BE (Fahrni) <sup>2)</sup>	2	215 ± 29	747 ± 46	< 0.5	< 0.3	< 0.3	0.61 ± 0.06
BE (Diesse/Jura)	2	333 ± 37	1'415 ± 86	< 0.5	< 0.4	0.4 ± 0.1	0.91 ± 0.07
BL (Sissach)	1	259 ± 19	675 ± 26	< 0.3	< 0.2	0.5 ± 0.3	0.24 ± 0.05
FR (Posieux)	2	108 ± 10	944 ± 75	< 1.1	< 1.1	< 1.1	0.39 ± 0.09 <sup>3)</sup>
GE (Voisinage CERN)	4	163 ± 10	784 ± 46	< 1.1	< 1.1	< 1.1	0.84 ± 0.17 <sup>4)</sup>
TG (Güttingen)	2	167 ± 14	1'009 ± 77	< 1.1	< 1.1	< 1.1	0.46 ± 0.10 <sup>3)</sup>
Ti (Centovalli)	1	377 ± 23	1'084 ± 53	< 0.3	< 0.3	13.9 ± 1.0	21.5 ± 4.30
Ti (Prato Leventina)	1	292 ± 18	1'148 ± 56	< 0.3	< 0.2	2.8 ± 0.4	5.90 ± 1.20
Ti (Sessa)	1	222 ± 15	854 ± 47	< 0.4	< 0.2	3.8 ± 0.5	4.70 ± 0.90
Ti (Cadenazzo)	2	388 ± 30	1'068 ± 81	< 1.1	< 1.1	3.0 ± 0.5	2.94 ± 0.58 <sup>3)</sup>
Ti (Stabio)	1	292 ± 31	555 ± 61	< 0.9	< 0.8	10.6 ± 1.3	

n = nombre d'échantillons;

<sup>1)</sup> alpage (Allmendhubel);

<sup>2)</sup> bord des Alpes, 850 m ;

<sup>3)</sup> coupe de printemps;

<sup>4)</sup> coupe d'automne.