

**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:** - (2014)

**Rubrik:** Radioaktivität im Menschen = Radioactivité dans le corps humain

### **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:** 15.02.2026

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

# Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz

## Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse

Ergebnisse 2014  
Résultats 2014



### 6

## Radioaktivität im Menschen

## Radioactivité dans le corps humain

<b>6.1 Ergebnisse der Ganzkörpermessungen von 2014</b>	<b>91</b>
Zusammenfassung	91
Ziel der Messungen	91
Messmethode	91
Ergebnisse und Interpretation der $^{137}\text{Cs}$ -Messungen	92
$^{40}\text{K}$ -Gehalt des Körpers	92
<b>6.2 Mesure de <math>^{90}\text{Sr}</math>, de <math>^{210}\text{Po}</math> et de <math>^{226}\text{Ra}</math> dans les vertèbres et de <math>^{90}\text{Sr}</math> dans les dents de lait</b>	<b>93</b>
Résumé	93
Introduction	93
Méthodes	94
Conclusions	96





## 6.1

# Ergebnisse der Ganzkörpermessungen von 2014

### **S. Estier**

Sektion Umweltradioaktivität, URA BAG, 3003 Bern

### **M. Boschung**

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, PSI, 5232 Villigen-PSI

### **Mme. S. Namy, et K. Jeandet**

Abteilung Nuklearmedizin des Kantonsspitals, Av. Micheli-du-Crest 24, 1211 Genf-4

### Zusammenfassung

Ganzkörpermessungen zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes im menschlichen Körper werden regelmässig an Mitarbeitern des Paul-Scherrer-Institutes (PSI) in Villigen sowie an Studenten und Studentinnen aus Genf durchgeführt. Während die  $^{137}\text{Cs}$ -Messresultate aus Genf durchwegs unter der Nachweisgrenze (ca. 45 Bq) lagen, meldete das PSI in diesem Jahr sechs Messwerte zwischen 60 und 200 Bq und bei einer Person zwei  $^{137}\text{Cs}$ -Messwerte über 200 Bq. Die  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten für die anderen 452 am PSI durchgeführten Messungen lagen unterhalb der Nachweisgrenze von 60 Bq.

### Ziel der Messungen

Am PSI werden Ganzkörpermessungen zur Überwachung der beruflich strahlenexponierten Personen dieses Institutes eingesetzt. Bei Ereignissen mit Verdacht auf Inkorporation radioaktiver Stoffe können auch Personen der Bevölkerung gemessen werden. Seit 40 Jahren wurden in Genf Gymnasialstinnen und Gymnasiasten gemessen, mit dem Ziel die Radioaktivität bis zum letzten Glied der Nahrungskette überwachen zu können und Angaben zur Verteilung natürlicher und künstlicher Radionuklide in der Bevölkerung zu erhalten. Leider konnten diese Messungen 2013 nicht durchgeführt werden, da es immer schwieriger wurde die Schüler für diesen freiwilligen Beitrag zu gewinnen. Ab 2014 wurde deshalb das Messprogramm mit Studentinnen und Studenten der höheren Fachschule für Gesundheit in Genf weitergeführt.

### Messmethode

Ganzkörpermessungen am Kantonsspital Genf werden mit grossvolumigen NaI-Kristallen in speziell abgeschirmten Messkammern mit Blei- und Eisenabschirmung durchgeführt. Die Messung einer Person dauert in der Regel etwa zehn bis 30 Minuten. Die Kalibrierung erfolgt mittels eines Personen-Phantoms bekannter Aktivität.

Für die Ganzkörpermessungen wird am PSI ein Reinstgermanium-Detektor in einer speziell abgeschirmten Messkammer (mit Blei- und Eisenabschirmung) eingesetzt. Die Messung einer Person dauert in der Regel etwa 7 Minuten für die routinemässigen Überwachungsmessungen am PSI. Die Kalibrierung erfolgt mittels eines personenähnlichen Phantoms bekannter Aktivität.



## Ergebnisse und Interpretation der $^{137}\text{Cs}$ -Messungen

Im Rahmen der Inkorporationsüberwachung der beruflich strahlenexponierten Personen wurden 2014 am PSI in Villigen bei 247 Personen total 460 Ganzkörpermessungen durchgeführt. Bei 8 Messungen lag der  $^{137}\text{Cs}$ -Messwert über der Nachweisgrenze von 60 Bq. Bei drei Messungen wurde eine  $^{137}\text{Cs}$ -Ganzkörperaktivität zwischen 60 und 100 Bq gemessen. Bei drei weiteren Messungen wurde eine  $^{137}\text{Cs}$ -Ganzkörperaktivität zwischen 100 und 200 Bq nachgewiesen. Bei einer Person wurde an den beiden im Abstand von 6 Monaten durchgeführten Messungen eine  $^{137}\text{Cs}$ -Ganzkörperaktivität von über 200 Bq nachgewiesen. Diese gemessene  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität ist nicht auf eine berufliche Inkorporation zurückzuführen. Da die betreffende Person ein leidenschaftlicher Pilzesammler und -konsument ist, kann mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die  $^{137}\text{Cs}$ -Ganzkörperaktivität über kontaminierte, selber gesammelte Pilze in den aargauer Wäldern aufgenommen wurde.

Die Ermittlung einer resultierenden effektiven Folgedosis ist schwierig, da die Anzahl und Zeitpunkte der  $^{137}\text{Cs}$ -Aufnahmen nicht nachvollzogen werden können. Die Standardinterpretation eines Messwertes von 200 Bq  $^{137}\text{Cs}$  gemäss Verordnung über die Personendosimetrie ergibt eine effektive Folgedosis von 5 mikroSievert und stellt für diese Situation aber eine sehr konservative Abschätzung dar.

Die  $^{137}\text{Cs}$ -Messwerte an 27 Studentinnen und 7 Studenten aus Genf (21-28-jährige) ergaben durchwegs Werte unter der Nachweisgrenze von ca. 45 Bq.

## $^{40}\text{K}$ -Gehalt des Körpers

Da  $^{40}\text{K}$  ein Gamma-Strahler ist, kann es bei der Ganzkörpermessung ohne zusätzlichen Aufwand mitgemessen werden.

Das in der Natur vorkommende Kalium besteht zu 11.67‰ aus dem radioaktiven Isotop  $^{40}\text{K}$ . Kalium befindet sich vor allem im Muskelgewebe und damit ist der Kalium-Gehalt proportional zur Muskelmasse. Da bei Männern der Anteil Muskelgewebe am Gesamtkörpergewicht grösser ist als bei Frauen, haben die Männer einen höheren Kalium-Gehalt als Frauen. Der durchschnittliche  $^{40}\text{K}$ -Gehalt beträgt (gemäss älteren Publikationen) bei 20-30-jährigen Männern ca. 4'500 Bq und bei gleichaltrigen Frauen ca. 3000 Bq und nimmt danach bis zum Alter von 70 Jahre um etwa 10 bis 20 Prozent ab.

Aus den langjährigen Ganzkörpermessungen an Gymnasiasten (16-21-jährige) und Studenten 21-28-jährige aus Genf (von 1974 bis 2014: 720 Messwerte an jungen Frauen und 722 Messwerte an jungen Männern) kann die Häufigkeitsverteilung des Kalium-Gehaltes bestimmt werden. Im Durchschnitt ergibt sich bei den untersuchten Gymnasiasten/Studenten bei den jungen Frauen ein Mittel von 1.83 g Kalium (20-80%-Perzentile: 1.64-2.04 gK) pro kg Körpergewicht (entsprechend 3'300 Bq) und bei den jungen Männer 2.29 g K (20-80%-Perzentile: 2.10-2.50 gK) pro kg Körpergewicht (entsprechend 4'900 Bq). Man stellt eine Erhöhung der durchschnittlichen  $^{40}\text{K}$ -Aktivität im Körper von ca. 10% über den letzten zehn Jahren fest. Diese ist direkt auf die Zunahme des durchschnittlichen Körpergewichts der Gymnasiasten zurückzuführen.

Die tägliche Kaliumzufuhr beträgt etwa 3.3 g d.h. rund 100 Bq  $^{40}\text{K}$ . Die durchschnittliche Jahresdosis durch das natürliche  $^{40}\text{K}$  beträgt bei den untersuchten Gymnasiasten und Studenten etwa 0.19 mSv (0.17 bei den Frauen und 0.21 bei den Männern). Gemittelt über alle Altersgruppen liegt der Wert infolge Abnahme des K-Gehaltes mit dem Alter etwas tiefer, gemäss UNSCEAR: 0.17 mSv/Jahr. Da bei diesen Messreihen auch Grösse und Gewicht der untersuchten Personen erfasst wurden, konnte aus den Daten abgeleitet werden, dass der Kalium-Gehalt mit zunehmendem Body-Mass-Index ( $\text{BMI} = \text{Gewicht}/\text{Grösse}^2 [\text{kg}/\text{m}^2]$ ) leicht abnimmt. Das hängt damit zusammen, dass der BMI proportional zum Anteil Fettgewebe ist und damit umgekehrt proportional zur Muskelmasse und somit zum Kalium-Gehalt.

## 6.2

Mesure de  $^{90}\text{Sr}$ , de  $^{210}\text{Po}$  et de  $^{226}\text{Ra}$  dans les vertèbres et de  $^{90}\text{Sr}$  dans les dents de lait**P. Froidevaux, P.-A. Pittet, F. Barraud, M. Pedro, F. Bochud**

Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, 1007 Lausanne

## Résumé

La mesure de la radioactivité dans les vertèbres humaines et les dents de lait permet l'évaluation de la contamination de la chaîne alimentaire et de son impact sur l'homme. Les activités en  $^{90}\text{Sr}$  dans les vertèbres et les dents de lait mesurées dans ce travail sont très basses, en constante diminution par rapport aux années précédentes et ne dépassent pas 25 mBq/g Ca dans ces deux types d'échantillons. Les activités en  $^{210}\text{Po}$  sont nettement plus variables et varient d'un facteur dix, avec une activité maximale à 100 mBq/g Ca et reflètent les habitudes alimentaires et de tabagisme. Les activités en  $^{226}\text{Ra}$  sont très basses, inférieures en tous les cas à 5 mBq/g Ca, ce qui devrait permettre la détection d'une activité due à une incorporation accidentelle.

## Introduction

La plupart du  $^{90}\text{Sr}$  présent dans l'environnement en Suisse peut être attribué aux essais nucléaires réalisés en atmosphère durant les années soixante. Cet héritage ne comprend pas uniquement le  $^{90}\text{Sr}$ , mais aussi le  $^{137}\text{Cs}$  et le plutonium. La concentration dans l'air de ces radioéléments a connu une hausse brutale entre 1950 et 1963. Les années qui ont suivi ont montré une décroissance rapide de la concentration de ces radioéléments dans l'air et dans le squelette humain [1-2], bien qu'une étude récente ait montré qu'une quantité importante des radioéléments produits par les essais nucléaires se trouve encore présente dans la stratosphère [3].

Le  $^{226}\text{Ra}$  est, quant à lui, un héritage radiologique de la période industrielle durant laquelle il a été employé dans les peintures luminescentes, notamment pour les montres. L'industrie horlogère de l'arc jurassien a ainsi été un grand consommateur de ce radioélément, jusque dans les années soixante. Les mesures réalisées à Bienne en 2014 par l'OFSP [4] dans le cadre de la phase pilote du plan d'action radium ont montré que ce radioélément pouvait être présent à des niveaux d'activité nécessitant un assainissement dans des maisons ayant servi d'atelier de pose de peintures luminescentes.

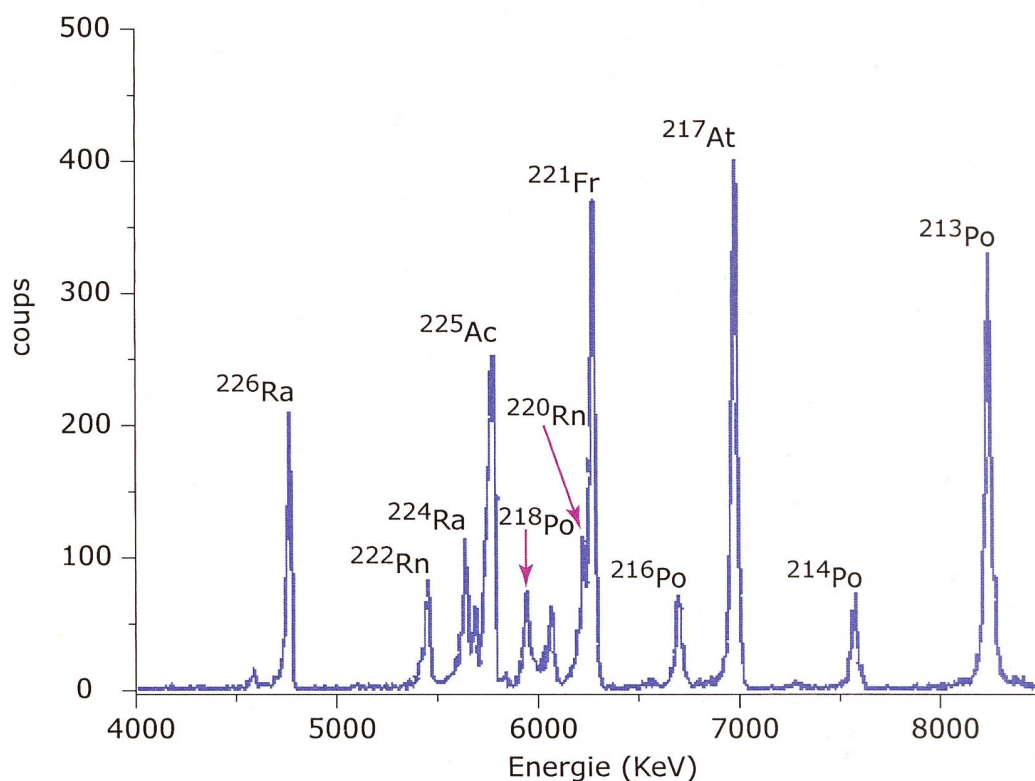
L'origine du  $^{210}\text{Po}$  est traçable à la série de désintégration de  $^{238}\text{U}$ , et plus particulièrement du gaz radioactif  $^{222}\text{Rn}$ . L'incorporation de ce radioélément dans l'être humain se fait principalement par inhalation et ingestion, bien que le tabagisme puisse être responsable d'un doublement de l'activité en  $^{210}\text{Po}$  présent dans l'os. Deux cas fortement médiatisés de l'emploi de  $^{210}\text{Po}$  pour un éventuel empoisonnement ont par ailleurs été décrits dans la littérature récemment [5,6].



Dans ce travail, nous avons procédé à l'analyse de l'activité en  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{210}\text{Po}$  et  $^{226}\text{Ra}$  de vertèbres humaines prélevées à l'autopsie par les instituts de pathologie des cantons de Vaud et du Tessin ainsi que du  $^{90}\text{Sr}$  dans les dents de lait récoltées dans les cantons de Zürich, Tessin et Vaud. Le but est d'établir un suivi de la contamination en  $^{90}\text{Sr}$  et en  $^{210}\text{Po}$  de l'alimentation en Suisse, ainsi que d'établir des niveaux de référence de la présence de  $^{226}\text{Ra}$  dans le squelette de la population helvétique, notamment en regard des contaminations potentielles liées aux héritages radiologiques de l'industrie horlogère.

## Méthodes

Les méthodes d'analyses du  $^{90}\text{Sr}$  et du  $^{210}\text{Po}$  peuvent être trouvées dans les références [1] et [7]. Nous décrivons brièvement la méthode d'analyse du  $^{226}\text{Ra}$  dans les vertèbres humaines: 5 g de cendres d'os sont dissouts dans 20 ml d HCl 32%. On ajoute 50 mBq de traceur  $^{229}\text{Th}$  ( $^{225}\text{Ra}$ ), 15 mg de  $\text{Ba}^{2+}$  et dilue la solution à 500 ml par de l'eau ultra-pure. Le pH est remonté vers 2-3 et 0.5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% est ajouté goutte-à-goutte. Après décantation du précipité de  $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ , celui-ci est dissout dans 3 ml d'EDTA 0.5 M, à chaud. Après dilution à 50 ml et ajustement du pH à la valeur de 6.5, la solution est passée sur une colonne de chromatographie d'échange de cations (Bio-Rad AG 50w, 8 ml). Les cations alcalino-terreux, à l'exception du radium, sont élués de la colonne par DCTA 0.075 M à pH 7.5. Le radium est alors élué par  $\text{HNO}_3$  6 M, la solution est évaporée et le radium électro-déposé sur un disque d'argent métallique en milieu alcoolique, sous une tension de 25 V (env. 100 mA). Le disque est compté pendant 10 jours pour la mesure de  $^{226}\text{Ra}$ , puis recompté 4 jours pour tenir compte de la croissance de  $^{217}\text{At}$ , arrière-petite fille du  $^{225}\text{Ra}$ , sur la source. C'est en effet le comptage de  $^{217}\text{At}$  qui permet l'évaluation du rendement de séparation chimique dans l'analyse.



**Figure 1:**

Spectre alpha de la fraction radium électro-déposée sur disque d'Ag<sup>0</sup>, à partir de 5 g de cendres d'os. On identifie le  $^{226}\text{Ra}$  et ses filles,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$  et  $^{214}\text{Po}$ , le  $^{224}\text{Ra}$  et ses filles,  $^{220}\text{Rn}$  et  $^{216}\text{Po}$  ainsi que les filles du traceur  $^{225}\text{Ra}$ ,  $^{225}\text{Ac}$ ,  $^{221}\text{Fr}$ ,  $^{217}\text{At}$  et  $^{213}\text{Po}$ . On utilise le pic de  $^{217}\text{At}$  pour la mesure du traceur, car sa ROI est exempte d'interférence et la probabilité d'émission alpha sur sa ligne est de 100%.

## Résultats et discussion

Les résultats sont présentés dans les tableaux 1 à 3. On constate d'emblée que les valeurs de  $^{90}\text{Sr}$  dans les os et les vertèbres sont très basses, inférieures dans tous les cas à 25 mBq/g Ca. Ce n'est que grâce à l'augmentation de la masse d'échantillon introduite dans l'analyse, ainsi qu'à une modification de la méthode d'analyse pour augmenter les rendements de séparation chimique, que nous pouvons donner des résultats quantifiables au-dessus de la limite de détection. Ce résultat est encourageant car il signifie que le  $^{90}\text{Sr}$  des essais nucléaires aura bientôt disparu de la chaîne alimentaire, et donc de notre environnement.

Les valeurs de  $^{210}\text{Po}$  sont beaucoup plus variables et s'échelonnent de 10 à 100 mBq/g Ca. En comparaison avec 36 autres cas que comporte notre base de données suisse de valeurs de  $^{210}\text{Po}$  pour des cas d'autopsie, la valeur 10 mBq/g Ca représente la borne inférieure et la valeur 100 mBq/g Ca la borne supérieure des valeurs observées. La grande variabilité des activités en  $^{210}\text{Po}$  s'explique par la grande variabilité de l'inhalation de radon dans les habitations en Suisse (voir site internet OFSP sur le sujet), la variabilité de l'ingestion de  $^{210}\text{Po}$ , certains aliments comme les fruits de mer en contenant de grandes quantités, ainsi que par le tabagisme.

Les résultats pour le  $^{226}\text{Ra}$  indiquent des activités très faibles, inférieures à 5 mBq/g Ca. L'utilisation d'une méthode de comptage très performante (spectrométrie alpha sur détecteur Si à barrière de surface) couplée à l'utilisation d'un traceur métrologique ( $^{229}\text{Th}$ ( $^{225}\text{Ra}$ )) permet une détermination très précise de l'activité en  $^{226}\text{Ra}$ . Une contamination accidentelle par inhalation ou ingestion devrait ainsi être facilement observable à partir de prélèvement sur le squelette. Sur le spectre d'émission alpha (Figure 1), on constate également la présence de  $^{224}\text{Ra}$  dont la période est de seulement 3.6 jours. La présence de  $^{224}\text{Ra}$  indique la présence de son précurseur, le  $^{228}\text{Th}$  ( $T_{1/2} = 1.9$  a). Toutefois, le thorium est connu pour être un élément chimique très peu mobile, ne transférant pas dans la chaîne alimentaire. La présence de  $^{228}\text{Th}$  est ainsi due, elle aussi, à la présence dans l'os de son précurseur, le  $^{228}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 5.75$  a) qui, comme analogue chimique au calcium, peut être transféré dans la chaîne alimentaire et cible également l'apatite ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ) formant la matrice de l'os.

**Tableau 1:**

$^{90}\text{Sr}$  (mBq/g Ca) dans les dents de lait d'enfants nés en Suisse entre 1996 et 2003 et mesurées en 2014. Les dents de lait sont groupées pour former un échantillon d'au moins 5 g de cendre après calcination (environ 10 dents). Incertitudes pour  $u(95\%)$ .

Naissance		Année d'extraction	<sup>90</sup> Sr (Bq/g Ca)
Année	Lieu		
1999	Zürich	2013 - 2014	15.1 ± 1.9
2001			12.0 ± 2.7
2003			13.0 ± 2.8
1996			13.9 ± 2.0
2000	Vaud		9.30 ± 3.3
2001			8.70 ± 1.7
2002			13.4 ± 2.4
1998			8.90 ± 2.2
2003			12.1 ± 5.7

**Tableau 2:**

$^{90}\text{Sr}$  (mBq/g Ca) et  $^{210}\text{Po}$  (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2013 et 2014 et mesurées en 2014. Incertitudes pour  $u(95\%)$ .

Année décès	Lieu décès	$^{90}\text{Sr}$ (mBq/g Ca)	$^{210}\text{Po}$ (mBq/g Ca)
2013	Tessin	5.3 ± 1.4	10.5 ± 1.2
2013	Tessin	7.3 ± 0.8	9.6 ± 1.2
2013	Tessin	7.1 ± 1.2	67.7 ± 5.3
2014	Tessin	13.7 ± 1.7	101.6 ± 7.7
2014	Tessin	15.8 ± 2.1	22.2 ± 2.2
2014	Tessin	15.9 ± 1.6	23.4 ± 2.2
2014	Vaud	9.6 ± 3.1	-
<b>Moyenne ± écart-type</b>		<b>10.7 ± 4.4</b>	<b>39.2 ± 37.3</b>

**Tableau 3:**

$^{226}\text{Ra}$  (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2014 et mesurées la même année. Incertitudes pour  $u(95\%)$ .

Année décès	Lieu décès	$^{90}\text{Sr}$ (mBq/g Ca)
2014	Vaud <sup>a)</sup>	4.6 ± 0.5
2014	Vaud	1.8 ± 0.2
2014	Vaud	1.4 ± 0.2
2014	Tessin <sup>a)</sup>	2.7 ± 0.3

<sup>a)</sup> mélange de cendres de deux cas au moins pour la mesure du  $^{226}\text{Ra}$ .



## Conclusions

Les résultats obtenus en 2014 indiquent que la contamination de l'être humain par le  $^{90}\text{Sr}$  en Suisse ne cesse de diminuer, pour s'approcher des limites de détections pour ce type d'analyse. Les activités en  $^{210}\text{Po}$  sont très variables et reflètent le lieu de vie, ainsi que les habitudes alimentaires et de tabagisme. Elles ne présentent toutefois pas des valeurs donnant lieu à une dose de radiation dont il faudrait s'inquiéter. Les activités en  $^{226}\text{Ra}$  sont très faibles mais facilement mesurables, ce qui laisse supposer qu'une contamination artificielle devrait être aisément détectable.

## Remerciements

Nous remercions les médecins-dentistes ayant participé à la collecte des dents de lait et les instituts de pathologie de Lausanne et Locarno pour la collecte des vertèbres.

## Références

- [1] Froidevaux 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, 519-524.
- [2] Froidevaux and Haldimann. Plutonium from above-ground nuclear tests in milk teeth: investigation of placental transfer in children born between 1951 and 1995 in Switzerland. *Environ. Health Persp.* 2008, 116, 1731-1734.
- [3] Corcho-Alvarado et al. Antropogenic radionuclides in air over Switzerland during the last few decades. *Nature Comm.* 2014, 5:3030.
- [4] <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/02839/index.html?lang=fr>
- [5] Harrison et al. Polonium-210 as a poison. *J. Radiol. Prot.* 2007, 27, 17-40.
- [6] Froidevaux et al. Improving forensic investigation for polonium poisoning. *Lancet*, 2013, 382: 1308.
- [7] Schrag et al. Dating human skeletal remains using a radiometric method: biogenic versus diagenetic  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in vertebrae. *Forensic Sci. Int.* 2012, 220, 271-278.