

**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:** - (2018)

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

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

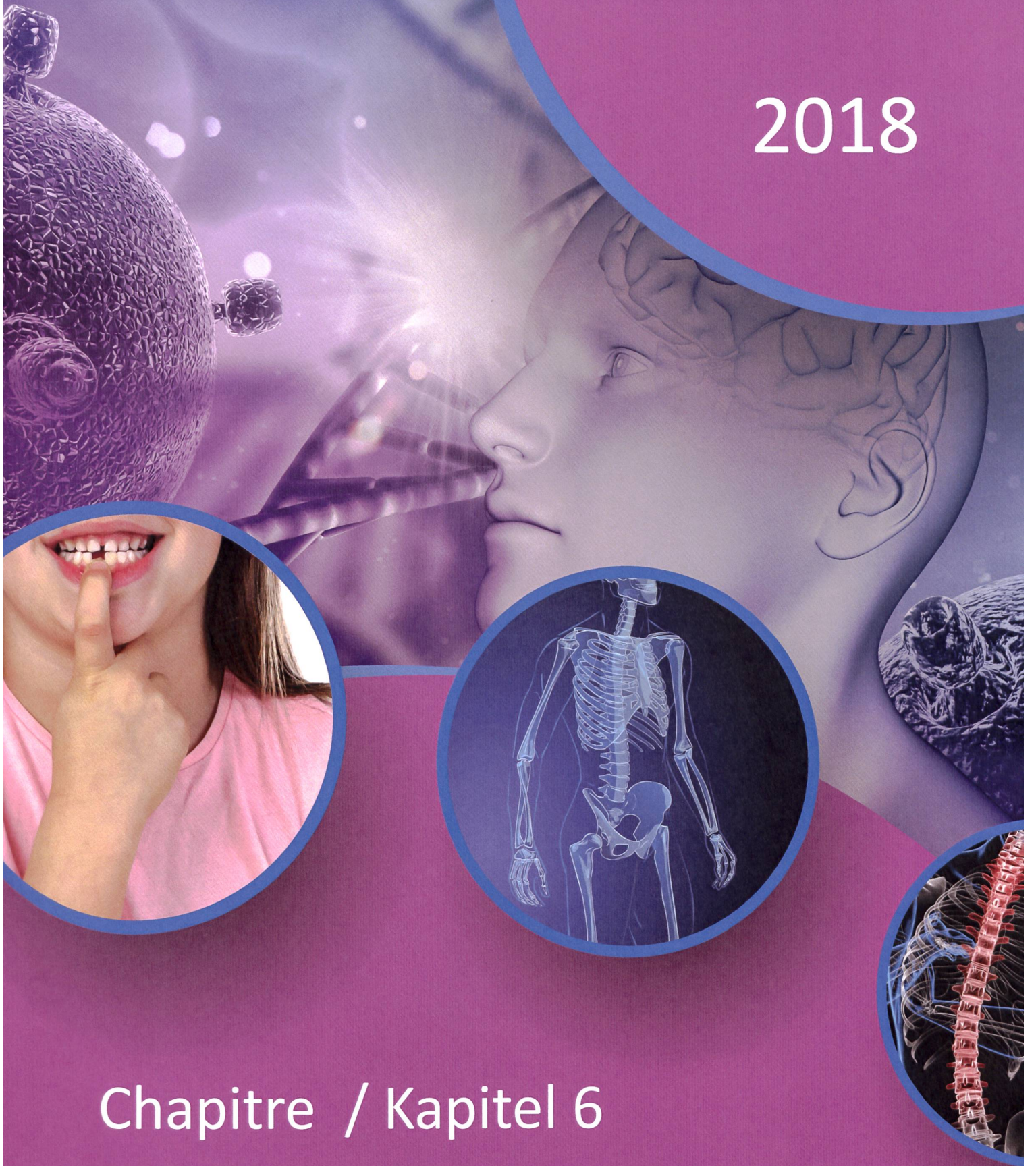
### **Terms of use**

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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 26.04.2025

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

2018



## Chapitre / Kapitel 6

Radioaktivität im Menschen

Radioactivité dans le corps humain

# 6.1

## Ergebnisse der Ganzkörpermessungen

### **S. Estier**

Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, Bern

### **E. G. Yukihara, F. Assenmacher**

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, Villigen-PSI

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

Abteilung Nuklearmedizin des Kantonsspital, Av. Micheli-du-Crest 24, Genf

### 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. Das PSI ermittelte in diesem Jahr 14 <sup>137</sup>Cs-Messwerte über die Nachweisgrenze von ca. 60 Bq, die aber zu keinen radiologisch relevanten Folgedosen führten. Die <sup>137</sup>Cs-Aktivitäten für die anderen 515 am PSI durchgeführten Messungen lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

### 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 Gymnastinnen und Gymnasten 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, die Messungen werden aber nicht mehr jedes Jahr, sondern alle 2 bis 3 Jahre durchgeführt.

### 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 am PSI in Villigen werden bei ausgewählten beruflich strahlenexponierten Personen in der Regel jährlich zweimal eine Ganzkörpermessung durchgeführt. 2018 wurden 263 Personen zu total 529 Ganzkörpermessungen aufgeboten. Bei 14 Personen wurden  $^{137}\text{Cs}$ -Messwerte über der Nachweisgrenze von ca. 60 Bq festgestellt, die aber zu keinen radiologisch relevanten Folgedosen führten. Vergleichbare Messwerte lassen sich bei den betroffenen Personen über die letzten Jahre nachverfolgen. Die maximale  $^{137}\text{Cs}$ -Ganzkörperaktivität betrug ca. 633 Bq, die gemäss der Standardinterpretation in der Verordnung über die Personendosimetrie eine vernachlässigbare, effektive Folgedosis von 18 Mikrosievert ergibt. Dieser Wert ist zehnmal kleiner als die typische, natürliche Folgedosis durch  $^{40}\text{K}$  im Körper.

Es wurde im 2018 keine Ganzkörpermessungen an Studenten und Studentinnen aus Genf durchgeführt.

## $^{40}\text{K}$ -Kalium-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. 3'000 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 2015: 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 g K) pro kg Körpergewicht (entsprechend 3'300 Bq) und bei den jungen Männern 2.29 g K (20 - 80%-Perzentile: 2.10- 2.50 g K) 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 (BMI = Gewicht/Grösse<sup>2</sup> [kg/m<sup>2</sup>]) 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 $^{90}\text{Sr}$ , $^{210}\text{Po}$ et $^{226}\text{Ra}$ dans les vertèbres et de $^{90}\text{Sr}$ dans les dents de lait

**P. Froidevaux, P.-A. Pittet, F. Barraud, L. Pfefferlé, F. Bochud**  
Institut de radiophysique, CHUV, Grand Pré 1, Lausanne

### Résumé

La mesure de la radioactivité dans les vertèbres humaines et les dents de lait permet l'évaluation de l'atteinte à l'homme ainsi qu'une évaluation de la contamination de la chaîne alimentaire. 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 20 mBq/g Ca dans ces deux types d'échantillons. Les activités en  $^{210}\text{Po}$  sont de l'ordre de 20 mBq/g Ca, soit des valeurs très proches de la valeur moyenne des mesures effectuées à l'IRA depuis 2006 sur des prélèvements de vertèbres dans les instituts de pathologie de Lausanne et Locarno (29 mBq/g Ca). Les activités en  $^{226}\text{Ra}$  sont situées entre 0.99 et 2.3 mBq/g Ca et ne diffèrent pas significativement des valeurs obtenues les années précédentes (moyenne à 1.81 mBq/g Ca). Par ailleurs, nous avons observé sur un échantillon de vertèbre la présence d' $^{88}\text{Y}$ . Ce radioélément est présent comme impureté, suite à un traitement de médecine nucléaire par  $^{90}\text{Y}$ , pour le traitement de carcinomes hépatiques ou de l'arthrose inflammatoire (radiosynoviorthèse).

### Introduction

L'IRA sur mandat de l'OFSP mesure depuis les années soixante le  $^{90}\text{Sr}$  dans les vertèbres humaines prélevées lors d'autopsies. Le  $^{90}\text{Sr}$  étant un indicateur de la fission nucléaire, il est important de le mesurer dans différents compartiments de l'environnement, de la chaîne alimentaire et de l'homme. Ces mesures permettent l'évaluation de la contamination de la chaîne alimentaire par ce radioélément car, de par sa nature chimique similaire au calcium, il se transfère rapidement du sol à l'herbe, de l'herbe au lait et ainsi jusqu'à l'homme, dans lequel il cible la masse osseuse. Depuis plusieurs années déjà, nous mesurons également le  $^{210}\text{Po}$ , un produit issu de la chaîne de désintégration de  $^{238}\text{U}$ . La mesure de  $^{210}\text{Po}$  dans les vertèbres permet l'évaluation de l'incorporation de  $^{210}\text{Pb}$ , dont le métabolisme suit celui du calcium [1]. Le  $^{210}\text{Pb}$  va être incorporé dans l'organisme humain par inhalation des produits de filiation du gaz  $^{222}\text{Rn}$ , soit directement dans l'air respiré, soit particulièrement dans l'inhalation de fumées de tabac. Une proportion importante de  $^{210}\text{Pb}$  est également incorporée par ingestion de nourriture, spécialement les fruits de mer. La mesure de  $^{226}\text{Ra}$  dans les os humains est réalisée dans le but de déterminer une valeur de référence pour la population suisse. Ce travail est effectué notamment en regard des contaminations potentielles liées aux héritages radiologiques de l'industrie horlogère. Comme le  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , qui est un cation alcalino-terreux similaire au calcium, va également cibler spécifiquement la masse osseuse. Le but de ces mesures est alors d'obtenir une base de données de valeurs de  $^{226}\text{Ra}$  dans les os humains pour la population suisse non exposée à du radium d'origine industrielle.

Dans ce rapport, nous reportons également la mesure en  $^{90}\text{Sr}$  des dents de lait de trois personnes dont toutes les dents de lait ont été conservées indépendamment par leurs parents, ce qui permet la mesure de cas individuels, au moins dix dents étant nécessaires à l'analyse. Ces échantillons ont été fournis par des collaborateurs de l'IRA.

## Méthodes

Les méthodes d'analyses du  $^{90}\text{Sr}$  et du  $^{210}\text{Po}$  peuvent être trouvées dans les références [2] et [3]. La méthode d'analyse de  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{223}\text{Ra}$  est décrite en détail dans la référence [4].

## Résultats et discussion

Les analyses de  $^{90}\text{Sr}$  dans les vertèbres humaines n'ont pas montré de valeurs anormales (Tableau 1), et l'activité en  $^{90}\text{Sr}$  continue de décroître avec une période biologique d'environ 13 ans, depuis la fin des essais d'armes atomiques dans l'atmosphère des années soixante [5; 6]. Toutefois, un cas a attiré notre attention, car la source d' $^{90}\text{Y}$ , mesurée lors de l'analyse de  $^{90}\text{Sr}$ , montrait la présence d'une impureté. Notre méthode d'analyse étant très spécifique à l'ion  $\text{Y}^{3+}$ , nous avons alors cherché quelle pourrait être cette impureté, par la mesure d'isotopes émetteurs gamma. Le résultat de cette recherche a montré qu'il s'agissait d' $^{88}\text{Y}$  ( $T_{1/2} = 106.6$  jours), un isotope présent comme impureté dans les sources de haute activité d' $^{90}\text{Y}$  ( $T_{1/2} = 64$  h) utilisées en médecine nucléaire pour le traitement des carcinomes hépatiques ou de l'arthrose inflammatoire (radiosynoviorthèse). L'activité mesurée par spectrométrie gamma à puits était d'environ 670 mBq/g Ca. La médecine nucléaire développe de plus en plus de radioéléments, notamment les radiolanthanides, pour l'imagerie ou le traitement de tumeurs. Il nous faudra donc être attentif à l'avenir à la présence de radioéléments artificiels d'origine médicale dans l'analyse de cas provenant d'instituts de pathologie. A part ce présent cas, nous avons par exemple mis en évidence la présence de  $^{223}\text{Ra}$  dans la partie saine des os d'un patient traité par le Xofigo ( $^{223}\text{Ra}$ , métastases osseuses) plusieurs semaines après l'administration [4].

Depuis 2006, nous analysons régulièrement l'activité en  $^{210}\text{Po}$  des vertèbres humaines. Notre base de données contient actuellement 75 cas, pour une moyenne à 29.3 mBq/g Ca. La valeur minimale est à 5.95 mBq/g Ca et la valeur maximale à 101.6 mBq/g Ca.

**Tableau 1:**

$^{90}\text{Sr}$  (mBq/g Ca) et  $^{210}\text{Po}$  (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2018. Incertitudes pour  $u(95\%)$ .

Année décès	Lieu décès	$^{90}\text{Sr}$ (mBq/g Ca)	$^{210}\text{Po}$ (mBq/g Ca)	
2018	Fribourg	6.3 ± 1.3		
	Lausanne		11.4 ± 0.8	
	Fribourg	4.4 ± 1.2		
	Lausanne	15.5 ± 4.2 <sup>a)</sup> 14.7 ± 2.9 <sup>a)</sup>	31.1 ± 1.8	
	Fribourg	7.4 ± 1.3		
	Lausanne	4.5 ± 1.0	13.2 ± 0.9	
	Tessin		19.6 ± 2.4	61.2 ± 3.2
			10.1 ± 1.8	
			16.7 ± 2.6	12.8 ± 0.9
			7.3 ± 2.0	
		9.4 ± 1.8	12.5 ± 0.9	
	11.4 ± 2.1			
Moyenne ± écart-type		9.7 ± 4.7 <sup>b)</sup>		

<sup>a)</sup> Nous avons observé une impureté sur la source de  $^{90}\text{Y}$ . Une mesure par spectrométrie gamma a montré la présence de  $^{88}\text{Y}$  (voir texte pour explication).

<sup>b)</sup> Sans les valeurs de l'échantillon contenant  $^{88}\text{Y}$ .

**Tableau 2:**

$^{90}\text{Sr}$  (mBq/g Ca) dans les dents de lait d'enfants nés en Suisse entre 1992 et 2005 et mesurées en 2018. Les dents de lait sont groupées pour former un échantillon d'au moins 5g de cendre après calcination (environ 10 dents). Incertitudes pour  $u(95\%)$ .

Année	Naissance		$^{90}\text{Sr}$ (mBq/g Ca)
	Lieu	Année(s) d'extraction	
1998	Sion	durant l'enfance <sup>a)</sup>	28.8 ± 8.8 <sup>b)</sup>
2002	Zürich + Tessin <sup>c)</sup>	2016 - 2018	13.3 ± 2.8
1998	Lausanne	durant l'enfance <sup>a,d)</sup>	15.1 ± 7.9
1992	Lausanne	durant l'enfance <sup>a,d)</sup>	16.7 ± 5.8
2005	Zürich	2016 - 2018	8.4 ± 1.8
2005	Lausanne	2016 - 2018	12.0 ± 2.3

<sup>a)</sup> Dents provenant d'un seul enfant, extraites durant toute l'enfance et conservées pour être analysées.

<sup>b)</sup> La valeur de référence de notre base de données pour l'année 1998 est de 32 mBq/g Ca.

<sup>c)</sup> Pour l'année 2002, il ne restait suffisamment de dents qu'en les groupant pour faire une analyse commune aux deux régions de prélèvement.

<sup>d)</sup> Enfants de la même famille

**Tableau 3:**

$^{226}\text{Ra}$  (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2018 et mesurées la même année. Incertitudes pour  $u(95\%)$ .

Année décès	Lieu décès	Type	$^{226}\text{Ra}$ (mBq/g Ca)
2018	Fribourg	vertèbre	1.30 ± 0.18
	Lausanne	vertèbre	2.31 ± 0.28
	Tessin	vertèbre	0.99 ± 0.42
	Tessin	vertèbre	1.84 ± 0.38

En 2018, les mesures étaient proches de 13 mBq/g Ca, soit des valeurs dans l'intervalle bas de notre base de données, avec toutefois une valeur à 31.1 mBq/g Ca et une autre à 61.2 mBq/g Ca. Ces différences montrent que l'incorporation de  $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$  est variable selon les personnes et dépend de plusieurs facteurs, dont les habitudes en matière de tabagisme et d'alimentation, ainsi que de l'exposition au  $^{222}\text{Rn}$ .

Le programme de mesure de  $^{90}\text{Sr}$  dans les dents de lait touche probablement à sa fin, car il nous est de plus en plus difficile d'obtenir des tailles d'échantillons suffisantes pour des analyses au niveau d'activité actuelle (< 20 mBq/g Ca). Il faut en effet au minimum 10 dents de lait (5 g) d'enfants nés la même année au même endroit (Vaud, Zürich ou Tessin) pour être en mesure de quantifier l'activité en  $^{90}\text{Sr}$ . Pour l'année de naissance 2002, pour laquelle il n'est plus envisageable d'obtenir encore des dents de lait (enfant > 16 ans), nous avons groupé les dents en provenance de Zürich et du Tessin pour obtenir un échantillon de taille suffisante. Comme pour les vertèbres, on observe une diminution régulière de l'activité depuis la fin des essais nucléaires en atmosphère, également avec une période biologique d'environ 10 ans [7].

L'OFSP a initié un programme d'assainissement des bâtiments contenant du  $^{226}\text{Ra}$ , issu de l'utilisation de peinture au  $^{226}\text{Ra}$  par l'industrie horlogère. Il est alors apparu important de pouvoir déterminer une moyenne d'activité en  $^{226}\text{Ra}$  dans les os humains de la population suisse non exposée à ce radioélément. Nous avons saisi l'opportunité du programme de mesure de radioactivité dans les vertèbres humaines pour y inclure la mesure de  $^{226}\text{Ra}$ . Notre base de données contient actuellement 29 cas, pour une moyenne à 1.81 mBq/g Ca. La valeur minimale est à 0.73 mBq/g Ca et la valeur maximale à 4.58 mBq/g Ca. Nous n'avons pas observé de différence entre l'activité en  $^{226}\text{Ra}$  contenue dans les vertèbres (os trabéculaire) et les fémurs ou les os de la mâchoire (os cortical), ce qui montre que le  $^{226}\text{Ra}$  est introduit dans l'organisme comme élément alcalino-terreux similaire au calcium, probablement principalement par la nourriture (boisson y compris). En 2018, les activités mesurées (Tableau 3) étaient parfaitement incluses dans l'intervalle des mesures réalisées jusque-là et n'ont pas montré d'exposition au  $^{226}\text{Ra}$  autre que par une source naturelle.

## Conclusions

Les mesures de radioactivité dans les vertèbres humaines en 2018 n'ont pas montré d'exposition à des radioéléments artificiels, à l'exception du  $^{90}\text{Sr}$  issus des essais nucléaires des années soixante, en constante diminution, ainsi que l'exposition à des radioéléments utilisés en médecine nucléaire ( $^{88}\text{Y}$ ). Les activités en  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Po}$  reflètent une exposition naturelle à ces radioéléments, principalement par ingestion et, pour  $^{210}\text{Po}$ , également par inhalation.

La constitution de bases de données statistiquement représentatives de l'exposition naturelle de la population suisse à ces radioéléments doit permettre la prise de position rapide lors de situations exceptionnelles.

## Remerciements

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

### Références

- [1] Legett, RW. An age-specific kinetic model for lead metabolism in human. *Env. Health Perspect.* 1993, 101, 598-616.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Straub et al. Determination of  $^{226}\text{Ra}$  at low levels in environmental, urine, and human bone samples and  $^{223}\text{Ra}$  in bone biopsy using alpha-spectrometry and metrological traceability to  $^{229}\text{Th}/^{225}\text{Ra}$  or  $^{226}\text{Ra}$ . *Anal. Chim. Acta*, 2018, 1031, 178-184
- [5] 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. *Env. Health Perspect.* 2008, 116, 1731-1734.
- [6] Froidevaux et al. Long-Term Effects of Exposure to Low-Levels of Radioactivity: a Retrospective Study of  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{90}\text{Sr}$  from Nuclear Bomb Tests on the Swiss Population. In “Nuclear Power- Operation, Safety and Environment», book edited by Pavel Tsvetkov, ISBN 978-953-307-507-5, Published: September 6, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0. Chapter 14, Open Acces.
- [7] Froidevaux et al.  $^{90}\text{Sr}$  in deciduous teeth from 1950 to 2002: The Swiss experience. *Sci. Total. Environ.* 2006, 367, 596-605.



