Radioaktivität im Menschen = Radioactivité dans le corps humain

Objekttyp: **Group**

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**

Band (Jahr): **- (2015)**

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

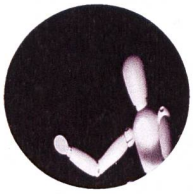
Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz

Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse

Ergebnisse 2015
Résultats 2015



6

Radioaktivität im Menschen

Radioactivité dans le corps humain

6.1 Ergebnisse der Ganzkörpermessungen von 2015	**89**
Zusammenfassung	89
Ziel der Messungen	89
Messmethode	89
Ergebnisse und Interpretation der ^{137}Cs-Messungen	90
^{40}Kalium-Gehalt des Körpers	90
6.2 Mesure de ^{90}Sr, de ^{210}Po et de ^{226}Ra dans les vertèbres et de ^{90}Sr dans les dents de lait	**91**
Résumé	91
Introduction	91
Méthodes	92
Conclusions	94

6.1
Ergebnisse der Ganzkörpermessungen von 2015

S. Estier
Sektion
Umweltradioaktivität
URA BAG
3003 Bern

M. Boschung
Abteilung
Strahlenschutz und
Sicherheit PSI
5232 Villigen-PSI

S. Namy
K. Jeandet
Abteilung
Nuklearmedizin
des Kantonsspitals
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. Die ^{137}Cs-Messresultate aus Genf lagen durchwegs unter der Nachweisgrenze von ca. 45 Bq. Das PSI meldete in diesem Jahr drei Messwerte zwischen 60 und 200 Bq. Die ^{137}Cs-Aktivitäten für die anderen 453 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 Gymnasiastinnen 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}Cs-Messungen

Im Rahmen der Inkorporationsüberwachung am PSI in Villigen wird bei ausgewählten, beruflich strahlenexponierten Personen in der Regel jährlich zweimal eine Ganzkörpermessung durchgeführt. 2015 wurden 258 Personen zu total 456 Ganzkörpermessungen aufgeboten. Bei drei Messungen wurde ein ^{137}Cs-Messwert festgestellt, der nicht durch eine Inkorporation aufgrund der beruflichen Arbeit erklärt werden konnte. Ein Messwert lag knapp über der Nachweisgrenze von 60 Bq. Bei einer Person wurde an den beiden im Abstand von 6 Monaten durchgeführten Messungen eine ^{137}Cs-Ganzkörperaktivität von ca. 200 Bq nachgewiesen. Bei allen 3 Messungen kann mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die ^{137}Cs-Ganzkörperaktivität über kontaminierte, selber gesammelte Pilze in den Aargauer Wäldern aufgenommen wurde. Die Person mit den zwei positiven Messwerten ist ein leidenschaftlicher Pilzesammler und -konsument. Ähnliche Messwerte lassen sich bei der Person über die letzten Jahre nachverfolgen. In diesem speziellen Fall ist die Ermittlung einer resultierenden effektiven Folgedosis schwierig, da die Anzahl und Zeitpunkte der ^{137}Cs-Aufnahmen nicht nachvollzogen werden können. Die Standardinterpretation eines Messwertes von 200 Bq ^{137}Cs gemäss Verordnung über die Personendosimetrie ergibt eine effektive Folgedosis von 5 µSv, stellt für diese Situation aber eine sehr konservative Abschätzung dar.

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

^{40}Kalium-Gehalt des Körpers

Da ^{40}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}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}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-jährig) und Studenten 21-28-jährig aus Genf (von 1974 bis 2015: 720 Messwerte von jungen Frauen und 722 Messwerte von 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 durchnittlichen ^{40}K-Aktivität im Körper von ca. 10% über die letzten zehn Jahre fest. Diese ist direkt auf die Zunahme des durchnittlichen Körpergewichts der Gymnasiasten zurückzuführen.

Die tägliche Kaliumzufuhr beträgt etwa 3.3 g d.h. rund 100 Bq ^{40}K. Die durchschnittliche Jahresdosis durch das natürliche ^{40}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^2 [kg/m^2]) leicht abnimmt. Das hängt damit zusammen, dass der BMI proportional zum Anteil Fettgewebe ist also umgekehrt proportional zur Muskelmasse und somit auch zum Kalium-Gehalt.

6.2 Mesure de ^{90}Sr, de ^{210}Po et de ^{226}Ra dans les vertèbres et de ^{90}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 radioactivité dans les vertèbres humaines et les dents de lait permet l'évaluation de la contamination de la chaine alimentaire ainsi que son transfert à l'être humain. Les activités en ^{90}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 16 mBq/g Ca dans ces deux types d'échantillons. Les activités en ^{210}Po sont nettement plus variables, dans un intervalle de valeurs de 12.3 à 85.6 mBq/g Ca et reflètent les habitudes alimentaires et de tabagisme. Les activités en ^{226}Ra sont très basses, inférieures en tous les cas à 5 mBq/g Ca, soit environ 10 fois moins que le ^{210}Po, ce qui devrait permettre la détection d'une activité due à une incorporation accidentelle. En collaboration avec le Centre Universitaire Romand de Médecine Légale, l'IRA mesure le ^{90}Sr et le ^{210}Po dans les restes osseux humains pour aider les anthropologues forensiques dans la détermination de l'intervalle post-mortem.

Introduction

L'OFSP mesure depuis les années soixante le ^{90}Sr dans les vertèbres humaines prélevées lors d'autopsies. Ces mesures permettent l'évaluation de la contamination de la chaine alimentaire par ce radioélément car, de par sa nature chimique similaire au calcium, il se transfert rapidement du sol à l'herbe, de l'herbe au lait et ainsi jusqu'à l'homme, dans lequel il cible la masse osseuse. Sur la figure 1, on observe une correspondance presque parfaite entre le profil du ^{90}Sr dans le lait mesuré en Suisse ces soixante dernières années (moyenne d'environ 15 à 20 mesures du plateau Suisse) et celui mesuré dans les vertèbres, avec un léger décalage de 3 ans du maximum de la contamination des os lié à la vitesse de renouvellement de la masse osseuse trabéculaire, qui est d'environ 25% par an.

En collaboration avec le Centre Universitaire Romand de Médecine Légale (CURML), l'IRA utilise ce profil d'activité en ^{90}Sr dans les vertèbres pour aider les anthropologues forensiques à déterminer la période de décès lorsque seulement des restes humains osseux sont retrouvés. En effet, dans ce cas de figure, il y a peu de faits incontestables permettant une évaluation de la période de décès, ce qui complique l'identification des restes. La mesure de ^{90}Sr au-dessus de la limite de détection dans des restes d'os humain atteste d'une période de décès postérieure à 1950, c'est-à-dire postérieure au début de l'ère nucléaire lors de laquelle ce radioélément, inexistant auparavant, a été dispersé dans l'environnement. Lors d'une étude couvrant la période 1998 à 2010, nous avons ainsi pu déterminer que 35% des restes humains en attente d'identification au CURML étaient des cas archéologiques ne nécessitant pas d'enquête, car la mort était antérieure à 1950. Cette simple mesure permet ainsi l'économie d'analyses génétiques et anthropologiques complexes. De plus, le niveau de l'activité mesurée permet, dans certains cas, d'établir la période de décès dans l'intervalle du maximum de la contamination de la chaine alimentaire, soit entre 1960 et 1970 [1, 2].

Par ailleurs, la mesure de ^{210}Po dans les os permet en fait la détermination de l'activité en ^{210}Pb. En effet, ^{210}Po est la petite-fille de ^{210}Pb et est à l'équilibre radioactif rapidement avec ^{210}Pb (en moins de

deux ans). ^{210}Pb et ^{210}Po peuvent être ingérés, notamment lors de la consommation de fruits de mer qui en contiennent beaucoup en comparaison avec d'autres aliments, ou inhalés comme produits de filiation du gaz ^{222}Rn (voir chapitre 10). ^{210}Pb et ^{210}Po peuvent aussi être inhalés de manière significative en fumant du tabac et les urines des fumeurs contiennent plus de ^{210}Po que celles des non-fumeurs (environ 3-4 fois plus). L'activité en ^{210}Pb (période 22 ans) a également été utilisée comme marqueur de l'intervalle post-mortem (PMI), mais la difficulté d'identifier une valeur de référence pour ^{210}Pb dans les os humains rend l'interprétation de cette mesure plus compliquée. En effet, les activités variables dans l'air inhalé de ^{222}Rn en fonction des zones géographiques, ainsi que les différences dans le régime alimentaire et dans les habitudes en matière de tabac pour un individu font que la valeur cible des os au moment du décès (mesurée lors d'autopsie), varie entre 15 et 100 mBq/g Ca.

La mesure de ^{226}Ra a quant à elle été 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.

Méthodes

Les méthodes d'analyses du ^{90}Sr et du ^{210}Po peuvent être trouvées dans les références [2] et [3]. Nous décrivons brièvement la méthode d'analyse du ^{226}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 $^{229}Th(^{225}Ra)$, 15 mg de Ba^{2+} et dilue la solution à 500 ml par de l'eau ultrapure. Le pH est remonté vers 2-3 et 0.5 ml de H_2SO_4 98 % est ajouté goutte-à-goutte. Après décantation du précipité de $Ba(Ra)SO_4$, 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 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}Ra, puis recompté 4 jours pour tenir compte de la croissance de ^{217}At, arrière-petite fille du ^{225}Ra, sur la source. C'est en effet le comptage de ^{217}At qui permet l'évaluation du rendement de séparation chimique dans l'analyse.

Résultats et discussion

Les résultats sont présentés dans les tableaux 1 à 3. On constate d'emblée que les valeurs de ^{90}Sr dans les dents de lait et les vertèbres sont très basses, inférieures dans tous les cas à 15 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 chimiques, que nous pouvons donner des résultats quantifiables en abaissant la limite de détection. Ce résultat est encourageant car il signifie que le ^{90}Sr des essais nucléaires aura bientôt disparu de la chaine alimentaire, et donc de notre environnement direct. Nous avons également procédé à l'analyse de deux échantillons anciens de notre base d'échantillons osseux qui contient des os dont la période de décès couvre l'intervalle 1960 à 2015. Ces échantillons sont identifiés comme échantillons de contrôle et permettent à la fois de valider la méthode de mesure et la méthode de détermination du PMI sur la base de la mesure de ^{90}Sr. On constate sur la figure 1 que les activités des deux échantillons et leur incertitude recoupent le profil

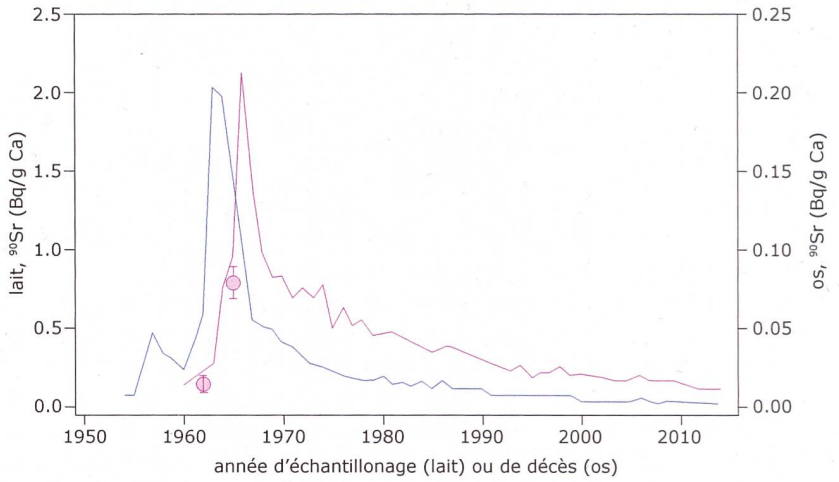


Figure 1:
Activités en ^{90}Sr dans le lait (en bleu) et dans les vertèbres humaines (en rouge) mesurées en Suisse de 1951 à 2014. Les points en rouge indiquent les mesures de contrôle effectuées en 2015 sur des échantillons de côtes et de sternum prélevés en 1965 à Lausanne et de fragments de fémur prélevés en 1962 à Berne.

6.2 Mesure de Sr-90, Po-210 et Ra-226 dans les vertèbres et de Sr-90 dans les dents de lait - @OFSP 2016

d'activité de ^{90}Sr dans les vertèbres. L'activité en ^{90}Sr du fémur (Berne, 1962) est légèrement inférieure à la valeur moyenne déterminée pour cette année-là car le fémur, qui est un os compact (cortical), a un taux de renouvellement du collagène et du calcium nettement inférieur à l'os trabéculaire (environ 3-5% par année) [4].

Les valeurs de ^{210}Po sont beaucoup plus variables et s'échelonnent de 12.3 à 85.6 mBq/g Ca. Ces valeurs sont compatibles avec notre base de données de mesures de ^{210}Po dans les vertèbres et les côtes humaines, dans laquelle la borne inférieure est à 10 mBq/g Ca et la borne supérieure à 100 mBq/g Ca. La grande variabilité des activités en ^{210}Po s'explique par la grande variabilité des inhalations de radon dans les habitations en Suisse (voir site internet OFSP sur le sujet), la variabilité de l'ingestion de ^{210}Po, certains aliments comme les fruits de mer en contenant de grandes quantités, ainsi que par les différentes habitudes en matière de tabagisme.

Tableau 1:
^{90}Sr (mBq/g Ca) et ^{210}Po (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2014 et 2015 et mesurées en 2015. Incertitudes pour u(95%).

Année décès	Lieu décès	^{90}Sr (mBq/g Ca)	^{210}Po (mBq/g Ca)
2014	Tessin	10 ± 2.0	
		8.1 ± 1.5	13.3 ± 0.7
		7.2 ± 1.4	34.2 ± 1.7
		6.4 ± 1.5	
		10.7 ± 1.7	
		5.9 ± 2.6	12.3 ± 0.6
			34.2 ± 1.7
			85.6 ± 4.2
2015	Vaud	12.8 ± 1.7	
		10.0 ± 2.4	
		15.6 ± 1.8	
		8.2 ± 1.3	
		6.8 ± 1.3	
Moyenne ± écart-type		**9.2 ± 2.8**	**35.9 ± 29.0**
1963	Berne[a)]	15.2 ± 5.2[c)]	Mesure de contrôle
1965	Vaud[c)]	79.2 ± 10.3	

[a)] fémur
[b)] mélange côtes et sternum
[c)] activité corrigée à la date de décès

La collecte des dents de lait reste très problématique et nous n'avons pu faire que six mesures en 2015 (Tableau 2). Toutefois, pour les dents de lait également, la valeur moyenne en ^{90}Sr diminue d'année en année de naissance, indiquant une diminution progressive de la contamination de la chaine alimentaire par ce radioélément.

Tableau 2:
^{90}Sr (mBq/g Ca) dans les dents de lait d'enfants nés en Suisse entre 2000 et 2005 et mesurées en 2015. 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	^{90}Sr (mBq/g Ca)
Année	Lieu		
2004	Zürich	2014 - 2015	10.0 ± 2.2
2000			13.0 ± 2.1
2000	Tessin		14.1 ± 2.7
2005	Vaud		10.2 ± 2.7
2002			13.7 ± 2.2
2001			14.3 ± 2.3

La mesure de ^{226}Ra dans quatre échantillons de vertèbres humaines en 2015 confirme les valeurs obtenues en 2014, avec des activités inférieures à 5 mBq/g Ca (Tableau 3). Malgré ces activités très faibles, l'utilisation de la spectrométrie alpha ainsi qu'un rattachement métrologique au traceur $^{229}Th/^{225}Ra$ permet une analyse très précise. Ainsi le spectre alpha de la figure 2 montre que la mesure de ^{226}Ra au niveau de quelques mBq/g Ca est tout-à-fait réalisable avec une grande précision. Ces mesures devraient permettre, le cas échéant, de déterminer si une personne a été contaminée par du ^{226}Ra lors de son activité professionnelle ou par contact avec du ^{226}Ra d'origine horlogère. Cette mesure doit alors être effectuée post-mortem ou lors d'un prélèvement *in-vivo* sur la crête iliaque.

Tableau 3:
^{226}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	Type	^{90}Sr (mBq/g Ca)
2011	Vaud[a)]	vertèbre	4.6 ± 0.5
1962	Berne	fémur	1.8 ± 0.2
2012	Vaud[a)]	vertèbre	1.4 ± 0.2
2012	Tessin[a)]	vertèbre	2.7 ± 0.3

[a)] mélange de cendres de deux cas au moins pour la mesure du ^{226}Ra.

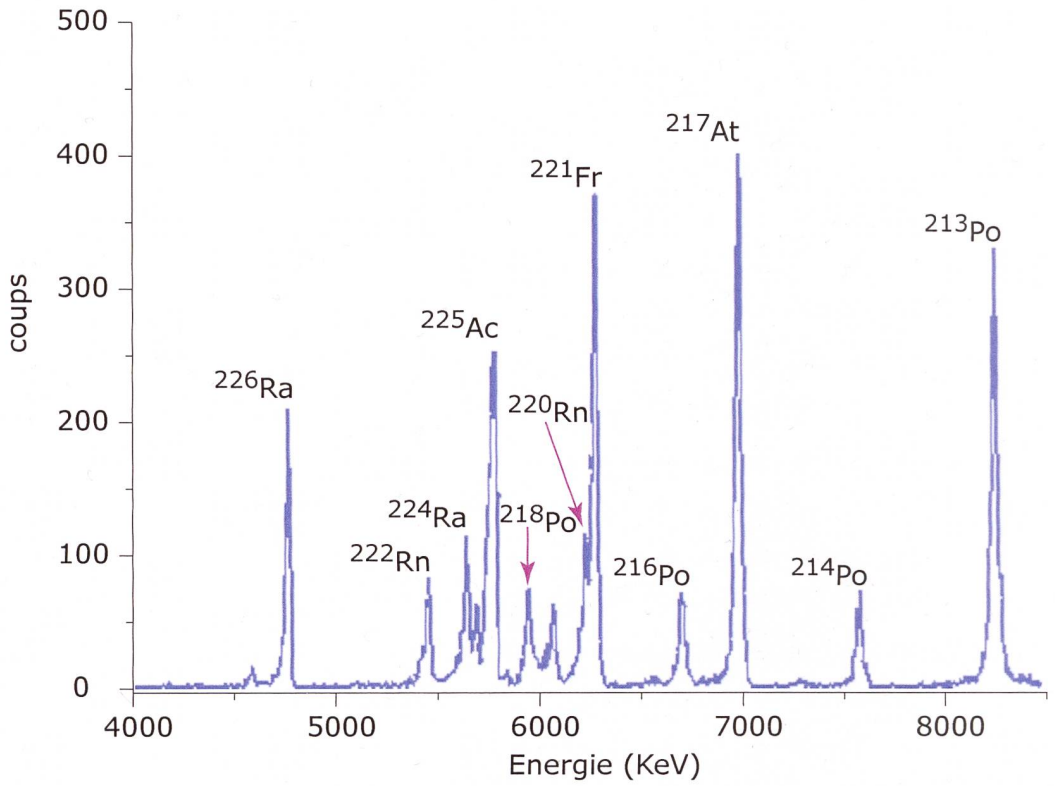


Figure 2:
Spectre alpha de la fraction radium électro-déposée sur disque d'Ag°, à partir de 5 g de cendres d'os. On identifie le ^{226}Ra et ses filles, ^{222}Rn, ^{218}Po et ^{214}Po, le ^{224}Ra et ses filles, ^{220}Rn et ^{216}Po ainsi que les filles du traceur ^{225}Ra, ^{225}Ac, ^{221}Fr, ^{217}At et ^{213}Po. On utilise le pic de ^{217}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 %.

Conclusions

Les résultats obtenus en 2015 indiquent que la contamination de l'être humain par le ^{90}Sr en Suisse ne cesse de diminuer, pour s'approcher des valeurs des limites de détections pour ce type d'analyse. Les activités en ^{210}Po sont très variables et reflètent le lieu de vie, ainsi que les habitudes alimentaires et de tabagisme. Elles ne représentent toutefois pas des valeurs donnant lieu à une dose de radiation dont il faudrait s'inquiéter. Les mesures de ^{90}Sr et de ^{210}Po peuvent être utilisées en médecine légale afin d'aider les anthropologues forensiques à déterminer la période de décès lorsqu'uniquement des restes d'os sont retrouvés.

Les activités en ^{226}Ra sont très faibles mais facilement mesurables, ce qui laisse supposer qu'une contamination artificielle devrait être aisément mesurable.

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] Schrag et al. Dating human skeletal remains using ^{90}Sr and ^{210}Pb: Case studies. *Forensic Sci.Int.* **2014**, 234, 190e1-190e6.
[2] Schrag et al. Dating human skeletal remains using a radiometric method: Biogenic versus diagenetic ^{90}Sr and ^{210}Pb in vertebrae. *Forensic Sci.Int.* **2012**, 220, 271–278.
[3] Froidevaux 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, 519-524.
[4] Ubelaker et al. Analysis of artificial radiocarbon in different skeletal and dental tissue types to evaluate date of death. *J. Forensic Sci.* **2006**, 51, (3), 484-488.