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: - (2017)

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

Chapitre / Kapitel 6

Radioaktivität im Menschen

Radioactivité dans le corps humain

6.1
Ergebnisse der Ganzkörpermessungen

S. Estier
Sektion Umweltradioaktivität, URA / BAG, 3003 Bern
E. G. Yukihara, F. Assenmacher
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen-PSI
Mme. S. Namy, K. Jeandet
Abteilung Nuklearmedizin des Kantonsspital, 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. Die ^{137}Cs-Messresultate aus Genf lagen durchwegs unter der Nachweisgrenze von ca. 45 Bq. Das PSI ermittelte in diesem Jahr sieben ^{137}Cs-Messwerte über die Nachweisgrenze von ca. 60 Bq, die aber zu keinen radiologisch relevanten Folgedosen führten. Die ^{137}Cs-Aktivitäten für die anderen 554 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 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 werden bei ausgewählten beruflich strahlenexponierten Personen in der Regel jährlich zweimal eine Ganzkörpermessung durchgeführt. 2017 wurden 268 Personen zu total 545 Ganzkörpermessungen aufgeboten. Bei sieben Personen wurden ^{137}Cs-Messwerte über der Nachweisgrenze von ca. 60 Bq festgestellt, die aber zu keinen radiologisch relevanten Folgedosen führten. In den meisten Fällen kann mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die ^{137}Cs-Ganzkörperaktivität über kontaminierte, selbst gesammelte Pilze aufgenommen wurde. Vergleichbare Messwerte lassen sich bei den betroffenen Personen über die letzten Jahre nachverfolgen. Die maximale ^{137}Cs-Ganzkörperaktivität betrug ca. 410 Bq, die gemäss der Standardinterpretation in der Verordnung über die Personendosimetrie eine vernachlässigbare, effektive Folgedosis von 11 mikroSievert ergibt. Dieser Wert ist zehnmal kleiner als die typische, natürliche Folgedosis durch ^{40}K im Körper.

Die ^{137}Cs-Messwerte von den Studentinnen und Studenten aus Genf 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-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 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 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}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 und damit umgekehrt proportional zur Muskelmasse und somit zum Kalium-Gehalt.

6.2
Mesure de ^{90}Sr, ^{210}Po et ^{226}Ra dans les vertèbres et de ^{90}Sr dans les dents de lait

P. Froidevaux, P.-A. Pittet, F. Barraud, 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 l'atteinte à l'homme ainsi qu'une évaluation de la contamination de la chaine alimentaire. 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 de l'ordre de 6 - 35 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 (25.4 mBq/g Ca). Les activités en ^{226}Ra sont situées entre 0.86 et 1.4 mBq/g Ca et ne diffèrent pas significativement des valeurs obtenues les deux années précédentes. Par ailleurs, nous avons analysé pour comparaison les vertèbres d'un touriste Chilien décédé au Tessin en 2017; l'activité en ^{90}Sr était inférieure à la limite de détection de 2.4 mBq/g Ca, ce qui confirme que l'hémisphère sud a été moins contaminé par le ^{90}Sr des retombées des essais nucléaires que l'hémisphère nord.

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 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}Po, un produit issu de la chaine de désintégration de ^{238}U. La mesure de ^{210}Po dans les vertèbres permet l'évaluation de l'incorporation de ^{210}Pb, dont le métabolisme suit celui du calcium [1]. ^{210}Pb va être incorporé dans l'organisme humain par inhalation des produits de filiation du gaz ^{222}Rn, soit directement dans l'air respiré, soit particulièrement dans l'inhalation de fumées du tabac. Une proportion importante de ^{210}Pb est également incorporée par ingestion de nourriture, spécialement les fruits de mer. 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. Comme le ^{90}Sr, ^{226}Ra, qui est un cation alcalino-terreux similaire au calcium, va également cibler spécifiquement la masse osseuse. Cette année en raison de contraintes supplémentaires imposées par le respect des règles d'éthique, les prélèvements à l'institut de pathologie du CHUV n'ont pas été possibles. Nous reportons donc uniquement la mesure de ^{90}Sr dans les vertèbres de douze personnes décédées au Tessin et prélevées par l'institut de pathologie de Locarno.

Dans ce rapport, nous reportons également la mesure de ^{90}Sr des dents de lait de deux jumeaux nés en 2005 et vivant à Lausanne. Toutes les dents de lait ont été conservées indépendamment par leurs parents, ce qui permet la mesure des cas individuels, au moins douze dents étant présentes par enfant. Ces deux mesures nous permettent de valider la reproductibilité et la précision de la méthode de mesure, car on ne s'attend pas à des différences significatives pour ces deux enfants.

Nous avons aussi déterminé l'activité en ^{90}Sr des vertèbres d'un touriste chilien décédé au Tessin. Cette mesure nous permet de mettre en évidence la différence de contamination environnementale par les retombées des essais nucléaires entre les deux hémisphères.

Tableau 1:
^{90}Sr (mBq/g Ca) et ^{210}Po (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2017. Incertitudes pour u(95%).

Année décès	Lieu décès	^{90}Sr (mBq/g Ca)	^{210}Po (mBq/g Ca)
2017	Tessin	9.3 ± 1.9	15.1 ± 0.9
		17.2 ± 2.0	24.4 ± 1.4
		7.9 ± 1.7	
		7.3 ± 1.7	11.3 ± 0.8
		3.8 ± 1.8	
		6.2 ± 1.4	
		13.0 ± 2.1	
	TI/Chili[a)]	< 2.4	5.9 ± 0.4
	Tessin	11.4 ± 1.9	11.1 ± 0.7
		6.8 ± 1.7	
		9.3 ± 1.7	
		7.7 ± 1.4	35.1 ± 1.9
Moyenne ± écart-type		**9.1 ± 3.5**	

[a)] Ressortissant chilien décédé au Tessin

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 de 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 6M, la solution est évaporée et le radium électro-déposé sur un disque d'argent métallique en milieu alcoolique, sous une tension de 25V (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.

Tableau 2:
^{90}Sr (mBq/g Ca) dans les dents de lait d'enfants nés en Suisse entre 2000 et 2007 et mesurées en 2017. 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		
2000	Zürich	2016 - 2017	18.2 ± 3.8
2007	Zürich	2016 - 2017	10.9 ± 2.9
2001	Tessin	2016 - 2017	15.0 ± 3.7
2003	Vaud	2016 - 2017	15.8 ± 3.8
2005	Lausanne	a)	12.0 ± 3.0
2005	Lausanne	a)	10.0 ± 3.0

a)dents provenant de jumeaux monozygotes, extraites durant toute l'enfance et conservées pour être analysées

Tableau 3:
^{226}Ra (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2017 et mesurées la même année. Incertitudes pour u(95%).

Année décès	Lieu décès	Type	^{90}Sr (mBq/g Ca)
2017	Tessin	vertèbre	1.04 ± 0.14
		vertèbre	0.86 ± 0.16
		vertèbre	1.41 ± 0.22
		vertèbre	0.90 ± 0.15

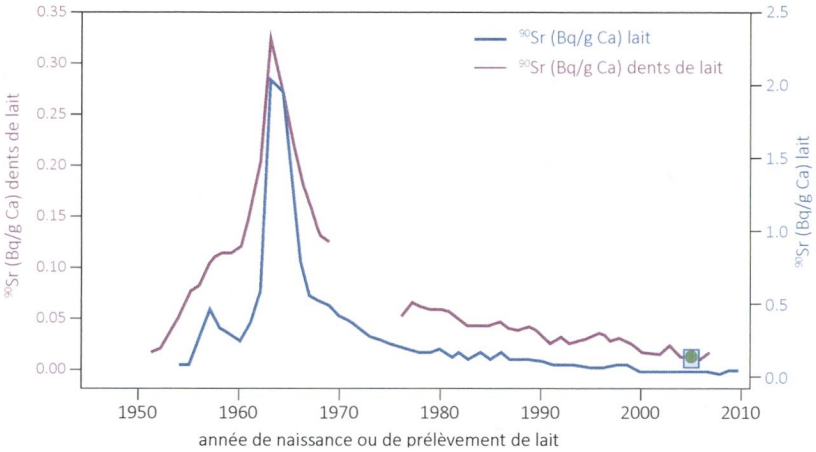

Figure 1 :
Activités en ^{90}Sr dans le lait et dans les dents de lait mesurées en Suisse de 1951 à 2017. Le carré bleu et le rond vert en 2005 indiquent la mesure de ^{90}Sr effectuée sur les dents de lait de deux jumeaux nés à Lausanne en 2005, dont les dents ont été collectées séparément au cours du temps lorsqu'elles tombaient. L'absence de données entre 1970 et 1975 provient de l'interruption du programme de collecte, repris suite à l'accident de Tchernobyl.

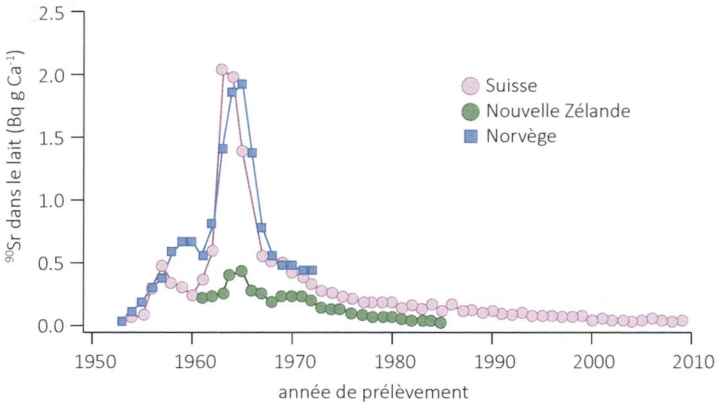

Figure 2 :
Activité en ^{90}Sr (Bq/g Ca) mesurée dans des échantillons de lait de l'hémisphère nord (Suisse et Norvège) et de l'hémisphère sud (Nouvelle Zélande) en fonction de l'année de prélèvement [5].

Résultats et discussion

Les résultats obtenus lors d'analyses de la radioactivité sur des vertèbres prélevées par l'institut de pathologie de Locarno, ainsi que sur des dents de lait prélevées dans les cantons de Vaud, Zürich et du Tessin 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 18 mBq/g Ca. L'origine de cette incorporation de ^{90}Sr remonte aux essais nucléaires atmosphériques des années soixante; depuis l'interdiction de ces essais, l'activité en ^{90}Sr n'a cessé de diminuer dans l'environnement, la chaine alimentaire et l'homme. La figure 1 montre l'évolution de l'activité en ^{90}Sr dans les dents de lait et dans le lait en Suisse entre 1951 et 2017. On constate que les deux courbes se superposent parfaitement, ce qui confirme que la présence de ^{90}Sr dans les dents de lait à la naissance de l'enfant est due au transfert de ^{90}Sr de l'alimentation de la mère au fœtus à travers la barrière placentaire. Une étude similaire de notre laboratoire avait montré un comportement différent pour le Pu, dont on avait pu conclure qu'il ne passait pas la barrière placentaire [4]. Les mesures de ^{90}Sr dans les dents de lait des deux jumeaux lausannois ont donné des valeurs identiques dans l'intervalle des incertitudes de la mesure. Ces activités sont également très cohérentes par rapport aux autres mesures réalisées en Suisse pour l'année de naissance 2005 (voir Figure 1), ce qui confirme la reproductibilité et la précision de la méthode de mesure utilisée.

Le résultat de la mesure de l'activité en ^{90}Sr dans les vertèbres d'un touriste chilien s'est avéré inférieur à la limite de détection de 2.4 mBq/g Ca. Toutes les autres mesures de cas de personnes ayant vécu au Tessin donnent des activités au moins 3 fois supérieures à la limite de détection. Ce résultat confirme que l'hémisphère sud, lieu de vie du touriste chilien, a été significativement moins contaminé par les retombées des essais nucléaires que l'hémisphère nord. La figure 2 présente les activités en ^{90}Sr mesurées dans des laits prélevés dans les deux hémisphères. On constate que l'activité en ^{90}Sr, autant en Suisse qu'en Norvège, a atteint un maximum d'environ 2 Bq/g Ca alors que ce maximum n'a été que de 0.45 Bq/g Ca en Nouvelle Zélande [5]. La contamination de l'environnement et de la nourriture dans l'hémisphère sud par le ^{90}Sr se traduit par une contamination inférieure du corps humain par rapport à l'hémisphère nord, avec une mesure en 2017 inférieure à la limite de détection de nos analyses.

Les activités en ^{210}Po mesurées dans ce travail sont parfaitement compatibles avec la valeur moyenne (25.4 mBq/ g Ca) des résultats obtenus jusqu'à présent pour ce type de mesures (vertèbres et côtes humaines). Pour cette mesure également, l'activité déterminée pour le cas chilien est significativement inférieure à cette moyenne (5.9 ± 0.4 mBq/g Ca). Ce résultat indique que, probablement, le lieu de vie de cette personne contient moins d'activité en précurseurs du ^{210}Po que le Tessin et le reste de la Suisse.

Les activités en ^{226}Ra sont très faibles et se situent entre 0.86 et 1.41 mBq/g Ca (Tableau 3). La moyenne des valeurs en ^{226}Ra lors des mesures de ces quatre dernières années est de 2.14 ± 1.4 mBq/g Ca (n=17). Ces mesures très sensibles de la contamination du corps humain par des radioéléments ciblant la masse osseuse (^{210}Pb, ^{226}Ra et ^{90}Sr) nous permettent de mettre en évidence d'éventuelles incorporations de radioactivité par la population suisse à des valeurs non acceptables.

Conclusions

Les résultats obtenus en 2017 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 détection pour ce type d'analyse, ce qui est attendu s'il n'y a pas de nouveaux apports de ^{90}Sr dans l'environnement. Les activités en ^{210}Po sont proches de la valeur moyenne pour ce radionucléide dans les vertèbres humaines. Elles ne représentent pas des valeurs donnant lieu à une dose de radiation dont il faudrait s'inquiéter. Les activités en ^{226}Ra sont très faibles mais facilement mesurables, ce qui laisse supposer qu'une contamination artificielle devrait être aisément mesurable. La mesure de ^{90}Sr dans les dents de lait de deux jumeaux vivant à Lausanne nous a permis de vérifier la reproductibilité de la mesure sur des cas individuels et la précision par rapport à la valeur moyenne obtenue en Suisse pour l'année de naissance 2005. La mesure de ^{90}Sr dans les vertèbres d'un touriste chilien décédé au Tessin confirme que l'hémisphère sud a reçu un dépôt de ^{90}Sr provenant des essais nucléaires significativement inférieur à l'hémisphère nord.

Remerciements
Nous remercions les médecins-dentistes ayant participé à la collecte des dents de lait et l'institut de pathologie de Locarno 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}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] 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.
[5] Froidevaux et al. Long-Term Effects of Exposure to Low-Levels of Radioactivity: a Retrospective Study of 239Pu and 90Sr 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.