

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:	- (2016)
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>

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 Studen- tinnen aus Genf durchgeführt. Die ^{137}Cs -Messresultate aus Genf lagen durchwegs unter der Nachweis- grenze von ca. 45 Bq. Das PSI ermittelte in diesem Jahr acht ^{137}Cs -Messwerte über der Nachweisgrenze von ca. 60 Bq, die aber zu keinen radiologisch relevanten Folgedosen führten. Die ^{137}Cs -Aktivitäten für die anderen 416 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.

6.1 Ganzkörpermessungen

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.

Im Rahmen der Inkorporationsüberwachung am PSI in Villigen werden bei ausgewählten beruflich strahlenexponierten Personen in der Regel jährlich zweimal eine Ganzkörpermessung durchgeführt. 2016 wurden 262 Personen zu total 424 Ganzkörpermessungen aufgeboten. Bei fünf Personen wurden ¹³⁷Cs-Messwerte über der Nachweisgrenze von ca. 60 Bq festgestellt, die aber zu keinen radio- logisch relevanten Folgedosen führten. In den meisten Fällen kann mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die ¹³⁷Cs-Ganzkörperaktivität über kontaminierte, selbst gesammelte Pilze aufgenommen wurde. Vergleichbare Messwerte lassen sich bei den betroffenen Personen über die letzten Jahre nachverfolgen. Die maximale ¹³⁷Cs-Ganzkörperaktivität betrug ca. 630 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 ⁴⁰K im Körper.

Die ¹³⁷Cs-Messwerte an Studentinnen und Studenten aus Genf (21- 28-jährige) ergaben durchwegs Werte unter der Nachweisgrenze von ca. 45 Bq.

⁴⁰Kalium-Gehalt des Körpers

Da ⁴⁰K ein Gamma-Strahler ist, kann es bei der Ganzkörpermessung ohne zusätzlichen Aufwand mit- gemessen werden.

Das in der Natur vorkommende Kalium besteht zu 11.67% aus dem radioaktiven Isotop ⁴⁰K. 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 ⁴⁰K-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 2016: 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 ⁴⁰K-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 ⁴⁰K. Die durchschnittliche Jahressdosis durch das natürliche ⁴⁰K 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/Grösse² [kg/m²]) 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. Froidévaux, 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 chaîne 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 14 mBq/g Ca dans ces deux types d'échantillons. Les activités en ^{210}Po sont de l'ordre de 20-30 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 pour ^{210}Po (35 mBq/g Ca). Les activités en ^{226}Ra sont situées entre 0.7 et 3.8 mBq/g Ca et ne diffèrent pas des valeurs obtenues les deux années précédentes. Ce rapport analyse par ailleurs les résultats des mesures du ^{210}Po et ^{226}Ra dans les urines, également effectuées à l'IRA.

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 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 quelques années, nous mesurons également le ^{210}Po , un produit issu de la chaîne 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.

Dans ce rapport, nous mettrons en relation les activités mesurées en ^{226}Ra et ^{210}Po dans les vertèbres avec celles mesurées dans les urines, afin d'affiner nos connaissances sur le métabolisme de ces radioéléments.

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 dissous 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 ultra-pure. 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 $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$, 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 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.

Résultats et discussion

Les résultats obtenus sur des vertèbres prélevées dans les instituts de pathologie de Lausanne et 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 15 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, généralement bien respectée, l'activité en ^{90}Sr n'a cessé de diminuer dans l'environnement, la chaîne 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 2016. 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]. Une mesure de contrôle effectuée sur des dents de lait d'une personne née en 1951 confirme que l'environnement n'était pas significativement contaminé en ^{90}Sr à cette période, la mesure produisant un résultat inférieur à la limite de détection de 4 mBq/g Ca.

Les activités en ^{210}Po mesurées dans ce travail sont parfaitement compatibles avec la valeur moyenne (35 mBq/ g Ca) des résultats obtenus jusqu'à présent pour ce type de mesures (vertèbres et côtes humaines).

Tableau 1:

^{90}Sr (mBq/g Ca) et ^{210}Po (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2016. Incertitudes pour $u(95\%)$.

Année décès	Lieu décès	^{90}Sr (mBq/g Ca)	^{210}Po (mBq/g Ca)
2016	Tessin	6.1 ± 1.1	
		7.7 ± 1.3	
		5.8 ± 1.1	
		8.0 ± 1.7	
		8.4 ± 1.8	
		6.3 ± 1.0	
	Vaud	8.8 ± 1.7	29.5 ± 2.8
		11.8 ± 1.7	21.5 ± 2.1
		10.4 ± 2.4	
		9.1 ± 2.1	
		11.4 ± 1.7	
Moyenne \pm écart-type		8.8 ± 2.0	

Tableau 2:

^{90}Sr (mBq/g Ca) dans les dents de lait d'enfants nés en Suisse entre 1998 et 2005 et mesurées en 2016. 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	Lieu	Année d'extraction	^{90}Sr (mBq/g Ca)
2002				9.4 ± 2.2
2004		Zürich	2015 - 2016	11.2 ± 2.7
2005				7.9 ± 1.8
1998		Tessin	2015 - 2016	12.6 ± 7.5
2004		Vaud	2015 - 2016	13.9 ± 4.1
1951 ^{a)}			inconnue	< 4

^{a)}set de dents envoyés à l'institut par un particulier, utilisé ici comme contrôle

Tableau 3:

^{226}Ra (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2016 et mesurées la même année. Incertitudes pour $u(95\%)$.

Année décès	Lieu décès	Type	^{90}Sr (mBq/g Ca)
2016	Tessin	vertèbre	3.8 ± 0.5
		vertèbre	0.7 ± 0.1
		vertèbre	1.4 ± 0.4
	Vaud	vertèbre	0.8 ± 0.2

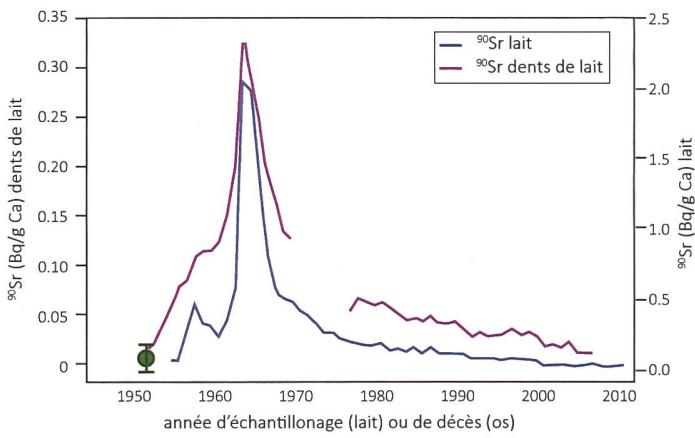


Figure 1 :

Activités en ^{90}Sr dans le lait (en bleu) et dans les dents de lait (en rouge) mesurées en Suisse de 1951 à 2016. Le point en vert indique la mesure de contrôle effectuée en 2016 sur un échantillon de dents de lait provenant d'un individu né en 1951. L'absence de données entre 1970 et 1975 provient de l'interruption du programme de mesure, repris suite à l'accident de Tchernobyl.

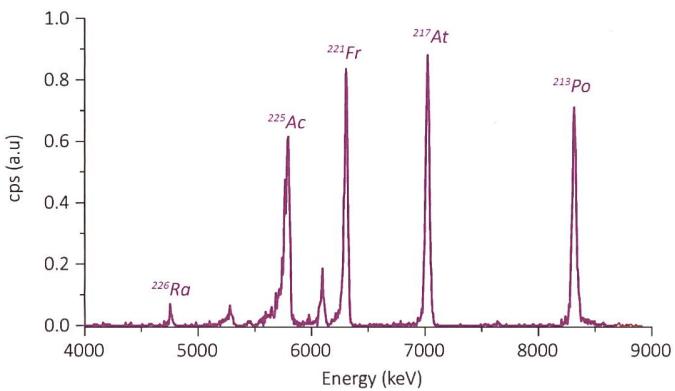


Figure 2 :

Spectre alpha de la fraction radium électro-déposée sur disque d' Ag° , à partir de 500 ml d'urine après séparation chimique. On identifie le ^{226}Ra , 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%.

Les activités en ^{226}Ra , sont encore inférieures et se situent entre 0.7 et 3.8 mBq/g Ca (Tableau 3). La moyenne des valeurs en ^{226}Ra lors des mesures de ces trois dernières années est de 2.1 ± 1.3 mBq/g Ca ($n=12$).

L'excrétion urinaire de radioéléments est toujours due à une composante systémique, c'est-à-dire que l'élément en question doit se retrouver dans la circulation systémique pour pouvoir être excrété par les reins. La présence de ^{210}Po , ^{90}Sr et de ^{226}Ra dans la circulation systémique est principalement due au renouvellement de la masse osseuse ainsi qu'à l'inhalation et à l'ingestion de ces radioéléments. Pour les vertébrés, le renouvellement de la masse osseuse peut atteindre jusqu'à 25% par an, selon l'âge de la personne [5]. Nous avons mesuré le ^{90}Sr , ^{210}Po et ^{226}Ra dans quelques échantillons d'urine provenant de collaborateurs de l'IRA et de l'OFSP; les mesures de ^{90}Sr sont toujours restées inférieures à la limite de détection de 5 mBq/l. Les activités en ^{210}Po sont toujours mesurables au-dessus de la limite de détection de 1 mBq/l mais ne dépassent pas 5 mBq/l pour des personnes non fumeuses. Un échantillon provenant d'un fumeur chronique a donné une valeur de 15 mBq/l, significativement plus élevée que pour des personnes non fumeuses. Les valeurs urinaires en ^{226}Ra sont situées entre 0.21 et 3.1 mBq/l, pour une moyenne à 1.0 ± 0.8 mBq/l ($n=11$). En tenant compte d'une excréption de 1.8 litre d'urine par 24 heures, ces mesures sont tout-à-fait comparables à celles publiées par Hurtgen [6] pour l'excrétion

urinaire de travailleurs du centre SCK-CEN en Belgique, avec des valeurs d'excrétion journalière situées entre 0.47 et 18 mBq/24h, pour une moyenne à 3.8 mBq/24h (n=51). Nos valeurs sont toutefois nettement inférieures aux activités mesurées par Kehagia et al. [7] sur des urines provenant de travailleurs ayant procédé à la décontamination d'une unité de production de fertilisants à base de phosphates (3-143 mBq/24h). Ces résultats nous indiquent que l'incorporation accidentelle de ^{226}Ra suite aux opérations d'assainissement du projet radium de l'OFSP devrait être facilement détectée par un prélèvement et une mesure de ^{226}Ra urinaire (voir spectre alpha à la figure 2).

Conclusions

Les résultats obtenus en 2016 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. Les valeurs d'excrétion urinaire montrent que tant l'excrétion de ^{226}Ra que celle de ^{210}Po sont dans les valeurs inférieures des intervalles publiés dans la littérature scientifique. L'ensemble de ces mesures indiquent que l'incorporation de ^{226}Ra et ^{210}Po est restée très faible en Suisse en 2016 et ne présente pas de danger pour la population.

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, ainsi que l'OFSP pour la collecte d'échantillons urinaires.

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] 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.
- [6] Hurtgen, C. Natural radioactivity in bioassay by alpha spectrometry measurements. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2001, 248, 477-482.
- [7] Kehagia et al. Determination of ^{226}Ra in urine samples. *Rad. Prot. Dosim.* 2007, 127, 293-296.

