

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: - (2003)

Rubrik: Menschlicher Körper

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>

6. Menschlicher Körper

6.1. Ergebnisse der Ganzkörpermessungen von 2003

M. Boschung und J. Eikenberg

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, PSI, 5232 VILLIGEN-PSI

Mme. S. Namy et D. O. Slosman

Abteilung Nuklearmedizin des Kantonsspital, Av. Micheli-du-Crest 24, 1211 GENÈVE 4

H. W. Roser und J. Roth

Abteilung Radiologische Physik, Kantonsspital Basel, 4031 BASEL

H. Völkle

Sektion Überwachung der Radioaktivität, BAG, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Zusammenfassung

Ganzkörpermessungen zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes im menschlichen Körper werden regelmässig an Mitarbeitern des Paul-Scherrer-Institutes (PSI) in Villigen sowie an Personen aus dem Raum Basel bzw. an Gymnasiasten aus Genf durchgeführt. Im menschlichen Körper ist teilweise noch ^{137}Cs nachweisbar, das vom Reaktorunfall in Tschernobyl stammt. Die Messwerte an Personen aus der Region Basel lagen unter 58 Bq, diejenigen von Gymnasiasten aus Genf alle unter 10 Bq.

6.1.1 Ziel der Messungen

Im PSI werden Ganzkörpermessungen zur Überwachung der beruflich strahlenexponierten Personen dieses Institutes eingesetzt, von denen viele im Kanton Aargau wohnen. Bei Ereignissen mit Verdacht auf Inkorporation radioaktiver Stoffe können auch Personen der Bevölkerung gemessen werden. Bei den Messungen am Kantonsspital Basel-Stadt handelt es sich um Personen aus der Region Basel; bei denjenigen aus Genf um Gymnasiastinnen und Gymnasiasten.

6.1.2 Ergebnisse und Interpretation

Ganzkörpermessungen werden mit grossvolumigen NaI-Kristallen oder Ge-Detektoren in speziell abgeschirmten Messkammern mit Blei- und Eisenabschirmung durchgeführt. Die Messung einer Person dauert in der Regel etwa zehn bis 30 Minuten für die routinemässigen Überwachungsmessungen am PSI und für Spezialuntersuchungen in Genf und Basel. Die Kalibrierung erfolgt mittels eines Personen-Phantoms bekannter Aktivität.

Im Rahmen der Inkorporationsüberwachung der beruflich strahlenexponierten Personen wurden 2003 am PSI in Villigen 674 Messungen im Ganz-

körperzähler durchgeführt. Sie ergaben ^{137}Cs -Werte bis 500 Bq, wobei 98 Prozent der Messwerte unterhalb der Erkennungsgrenze von 60 Bq für ^{137}Cs und ^{60}Co lagen, bei 10 Personen wurden Werte zwischen 100 und 500 Bq für ^{137}Cs , ^{134}Cs und ^{60}Co gefunden, die auf den Verzehr von Pilzen zurückzuführen ist.

Die ^{137}Cs -Messwerte an Personen aus dem Raum Basel (verschiedene Alter) und Genf (18 - 20jährige Gymnasiasten) ergaben die folgenden Werte, wobei bei 30% bzw. 40% der untersuchten Frauen bzw. Männer aus Basel der ^{137}Cs -Gehalt < 1 Bq war, bei 4/5 bzw. 2/3 kleiner als 20 Bq (Nachweisgrenze ~ 30 Bq):

Tabelle 1

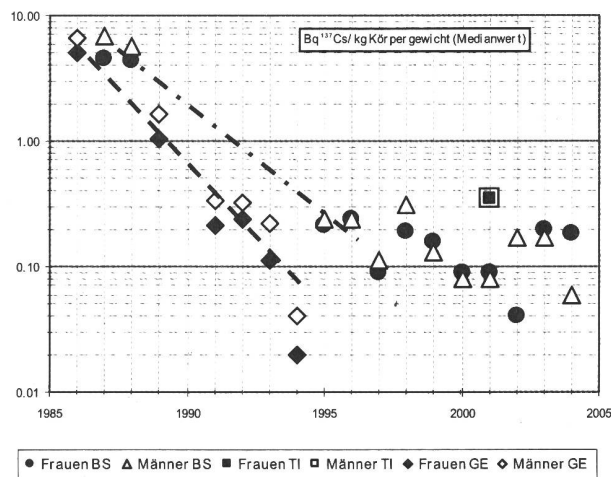
Resultate der Ganzkörpermessungen Genf und Basel

	Bq ^{137}Cs	Alter: unter 22 Jahre	Alter: über 22 Jahre
Frauen	Basel (11)	0 – 28	0 - 29
	Genf (21)	< 10	—
Männer	Basel (21)	0 – 31	0 - 58
	Genf (17)	< 10	—

(in Klammern: Anzahl untersuchte Personen)

Da Caesium, wie Kalium, vor allem in das Muskelgewebe geht und bei Männern der Anteil Muskelgewebe am Gesamtkörpergewicht grösser ist als bei Frauen, haben die Männer sowohl einen höheren Kalium- als auch einen höheren Caesium-Gehalt als Frauen. Ein dauernder Gehalt von 100 Bq ^{137}Cs im Körper einer 70 kg schweren Person führt zu einer Jahresdosis von ca. 0.003 mSv. Ein ^{137}Cs -

Wert von 20 Bq entspricht einer Jahresdosis von weniger als 0.0005 mSv.



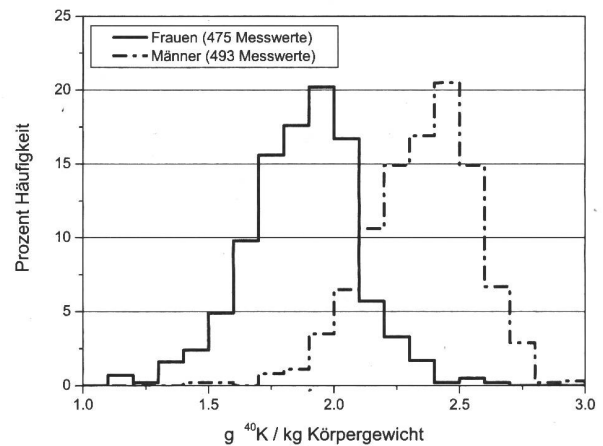
Figur 1
Ganzkörpermessungen an den Kantonsspitalern Basel und Genf: Übersicht der Medianwerte der spezifischen ^{137}Cs -Aktivität der Jahre 1986 bis 2004

Eine Kompilation der ^{137}Cs -Werte der Ganzkörpermessungen von Genf und Basel ist in Fig. 1 dargestellt. Nach dem Unfall Tschernobyl im April 1986 nahm die ^{137}Cs -Aktivität (in der Figur sind die Medianwerte der untersuchten jeweils 10 bis 20 Personen in Bq/kg Körpergewicht aufgezeichnet) mit rund 2 Jahren Halbwertszeit ab, wobei die Werte der Personen aus Basel um etwa einen Faktor 2 bis 4 höher waren als jene der Personen aus Genf. Ab 1995 lagen die Genfer Messwerte unter der Nachweisgrenze und sind deshalb auf der Figur nicht mehr eingezeichnet. Im Jahr 2001 wurden auch zwei Schulklassen aus Lugano bzw. Locarno gemessen. Diese Werte liegen rund 3 mal höher als jene aus Basel. Dies ist in Übereinstimmung mit der 1986/87 erstellten Kontaminationskarte für den Cs-Ausfall aus der Tschernobyl-Katastrophe, gemäss der die Ablagerungen im Tessin etwa eine Grössenordnung höher waren als in der Westschweiz.

6.1.3 ^{40}K -Kalium-Gehalt des Körpers

Das in der Natur vorkommende Kalium besteht zu 0.01167 % aus dem radioaktiven Isotop ^{40}K . Der durchschnittliche ^{40}K -Gehalt beträgt (gemäss älteren Publikationen) bei 20-30-jährigen Männern ca. 4500 Bq und bei gleichaltrigen Frauen ca. 3000 Bq und nimmt danach bis zum Alter von 70 Jahre um etwa ein Viertel (Männer) bzw. um etwa einen Sechstel (Frauen) ab. Kalium befindet sich vor allem im Muskelgewebe und damit ist der Kalium-Gehalt proportional zur Muskelmasse. Aus den langjährigen Ganzkörpermessungen (von 1974 bis 1996: 475 Messwerte an jungen Frauen und 493 Messwerte an jungen Männern) an Gymnasiasten

aus Genf und Basel kann die Häufigkeitsverteilung des Kalium-Gehaltes bestimmt werden. Im Durchschnitt ergibt sich bei den untersuchten Gymnasiasten bei den jungen Frauen ein Mittel von 1.9 g Kalium (20 - 80%-Perzentile: 1.6 - 2.1 gK) pro Körpergewicht (entsprechend 3300 Bq) bei den jungen Männer 2.4 g K (20 - 80%-Perzentile: 2.0 - 2.6 gK) pro Körpergewicht (entsprechend 4600 Bq). Die Verteilung ist auf der Fig. 1 aufgezeichnet.



Figur 2
Häufigkeitsverteilung des ^{40}K -Gehaltes an rund 20-jährigen Gymnasiast(inn)en aus Genf und Basel (Messungen der Jahre 1974 bis 1996)

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, wie aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich ist. Das hängt damit zusammen, dass der BMI proportional zum Anteil Fettgewebe ist und damit umgekehrt proportional zur Muskelmasse sowie zum Kalium-Gehalt. Die durchschnittliche Jahresdosis durch das natürliche ^{40}K beträgt damit etwa 0.2 mSv.

Tabelle 2
Rekapitulation der Ganzkörpermessungen 1974 - 1996

	Frauen			Männer		
Grösse (Mittel)	1.63 m			1.76 m		
kg	45	56	80	53	62	93
BMI	17	21	30	17	20	30
gK/kg	2.1	1.8	1.3	2.5	2.3	1.7
Bq ^{40}K	2950	3150	3250	4150	4450	4930
mSv/a	0.20	0.17	0.12	0.24	0.22	0.16

BMI = Body-Mass-Index = $\text{Gewicht}/\text{Grösse}^2 [\text{kg}/\text{m}^2]$

Vergleicht man bei den 2003 untersuchten Männern aus der Region Basel den Kaliumgehalt mit dem BMI, so erhält man eine schwache negative Korrelation entsprechend der Formel:

$$K(\text{gK/kg}) = 3.32 - 0.04 \cdot \text{BMI}$$

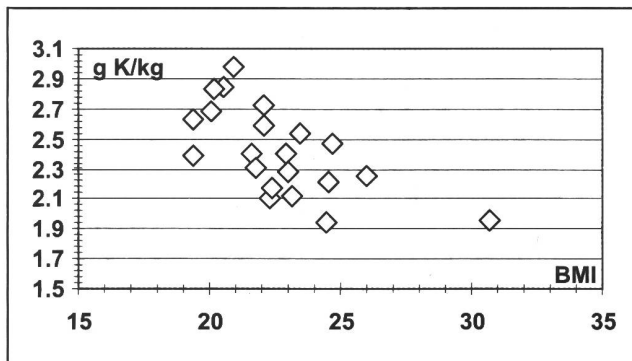
mit einem Korrelationskoeffizient von -0.6 (s. Fig. 2). Die Analyse der früheren Daten von Genf und Basel ergab:

Frauen: $K(\text{gK/kg}) = 3.1 - 0.06 \cdot \text{BMI}$

Männer: $K(\text{gK/kg}) = 3.5 - 0.06 \cdot \text{BMI}$

6.1.4 Bismut-214

Wie vereinzelt auch schon bei früheren Messungen wurden auch bei einigen der 2003 in Basel untersuchten Personen die Gamma-Linie des natürlichen ^{214}Bi im Ganzkörperspektrum festgestellt mit Werten zwischen 0 und 306 Bq ^{214}Bi . Dieses Isotop ist ein kurzlebiges Folgeprodukt (Halbwertszeit = 19.7 min.) des natürlichen, überall in der Luft vorhandenen ^{222}Rn und lagert sich an die Staubteilchen (Aerosole) der Luft an. Es kann daher auch auf Körper, Haaren und Kleidern deponiert werden.



Figur 3

Korrelation des K-Gehaltes und des BMI bei den untersuchten Männern aus Basel

6.2. Mesures de ^{90}Sr dans les vertèbres et les dents de lait

P. Froidevaux, K. Friedrich-Bénet, T. Schmittler, F. Barraud, J.-F. Valley

Institut de radiophysique appliquée, Grand Pré 1, 1007 LAUSANNE

Résumé

Des mesures de la concentration en ^{90}Sr normalisée à la masse de calcium de l'échantillon (ci-après ^{90}Sr Bq/g Ca) ont été effectuées sur des échantillons de dents de lait et de vertèbres humaines. Pour ces deux types d'échantillons, la valeur de ce rapport approche 0.030 Bq/g Ca. L'évolution de ce rapport durant la période 1960-2001 pour les vertèbres montre un maximum vers 1968 avec une valeur moyenne pour la Suisse de 0.180. Une analyse des résultats obtenus sur des vertèbres et des dents de lait prélevées à Lausanne entre 1978 et 1996 montrent que les dents de lait contiennent 65% de plus d'activité que les vertèbres. Actuellement, le rapport ^{90}Sr Bq/g Ca dans les os et les dents de laits est pratiquement à l'équilibre avec celui présent dans le lait (0.046). Dans la plupart des aliments, le ^{40}K naturel (env. 45 Bq/g Ca dans le lait) domine par rapport aux traces de radioéléments artificiels.

6.2.1 Introduction

En Suisse, le ^{90}Sr présent dans l'environnement provient essentiellement des tests atmosphériques de bombes nucléaires et, dans une moindre mesure, du dépôt de Chernobyl. En tant que cation alcalino-terreux, le ^{90}Sr suit le calcium dans la chaîne alimentaire, en particulier dans les produits laitiers, avant de se déposer dans le squelette et les tissus calcifiés. Les dents sont une extension du squelette et accumulent les métaux stables et radioactifs dotés d'une affinité pour les os.

En Suisse l'attention fut portée très tôt sur le ^{90}Sr à cause de son potentiel radiotoxique. Dès les premiers tirs de bombes atomiques, un programme de surveillance a été mis en place par l'OFSP. Ce programme se poursuit encore actuellement, notamment parce que la Suisse possède cinq réacteurs nucléaires produisant 3350 MW d'énergie électrique.

Le choix des dents de lait comme échantillons lors d'une surveillance de la radioactivité de l'environnement se justifie par l'accumulation de strontium dans la couronne des dents de lait par le fœtus environ 6 mois avant la naissance et jusqu'à environ 6 mois après la naissance, par substitution du calcium dans l'hydroxyapatite de l'émail. Le ^{90}Sr

présent dans ces échantillons est ainsi très représentatif de celui présent dans la diète de la mère. Toutefois, la détermination du radiostrontium dans les dents de lait produit un résultat qui représente une situation antérieure de plusieurs années à la mesure. C'est donc une mesure utile lors de l'établissement de tendances (p.ex décroissance exponentielle depuis 1965) et à la reconstruction de dose mais qui n'est pas suffisante lors d'une surveillance de la chaîne alimentaire.

La détermination du ^{90}Sr dans les os humains est une méthode plus directe dans l'étude de la contamination de la chaîne alimentaire par cet élément. L'hydroxyapatite constitue environ 60 à 70 % de la masse osseuse (95 à 97 % pour l'émail des dents) [1]. Dans les corps vertébraux, le remplacement du calcium (donc du strontium) est beaucoup plus rapide (1 à deux ans) que dans les os compacts (e.g. fémur). Le rapport ^{90}Sr Bq/g Ca mesuré au moment du prélèvement est donc représentatif du même rapport présent dans la diète dans l'intervalle d'une à deux années précédant le prélèvement. Toutefois, ce genre d'échantillons ne peut être prélevé que post mortem par des institutions spécialisées.

Dans cette étude, les échantillons de dents ont été fournis par divers dentistes privés et cabinets dentaires scolaires. Les vertèbres ont été fournies par les instituts de pathologie de Lausanne et Locarno.

6.2.2 Méthode

Dents de lait :

Le ^{90}Sr est déterminé par la mesure de son produit de filiation, ^{90}Y . Après dissolution des cendres (environ 6 dents par échantillon), une source de strontium est obtenue par précipitation du SrCO_3 suivie d'un passage sur une colonne d'échange de cations (AG 50 w x8), en présence de DCTA. Après un délai d'attente de 10 jours pour permettre la croissance de ^{90}Y , l'yttrium et le strontium sont séparés sur colonne d'échange d'ion et l'oxalate d'yttrium est précipité, filtré et compté dans un compteur proportionnel à flux de gaz.

Vertèbres :

Après dissolution des cendres et complexation de l'yttrium par l'acide dipicolinique, le complexe

anionique $[Y(dipic)_3]^{3-}$ est retenu sur une colonne anionique (AG 1x4) et élué par NaCl 1M. La source d'yttrium est obtenue par précipitation de l'oxalate et comptée comme précédemment.

Le contenu en calcium des cendres est déterminé par absorption atomique.

La limite de détection est de 3 mBq/g Ca pour les vertèbres et de 4 mBq/g Ca pour les dents de lait.

6.2.3 Résultats de la surveillance

Tableau 1

Strontium-90 dans les dents de lait prélevées en 2003

Lieu de prélèvement	⁹⁰ Sr		
	année de prélèvement	Année de naissance	Bq / g Ca
Lausanne	2003	1990	0.023±0.003
Lausanne	2003	1991	0.017±0.003
Lausanne	2003	1992	0.020±0.003
Tessin	2003	1988	0.040±0.005
Zürich	2003	1988	0.045±0.006
Zürich	2003	1992	< 0.01
Lausanne	2003	1987	0.035±0.004
Lausanne	2003	1990	0.029±0.004
Zürich	2003	1996	0.019±0.004
Tessin	2003	1988	0.043±0.007
Valais	2003	1989	0.035±0.006

Tableau 2

Strontium-90 dans les vertèbres de personnes décédées en 2003

Lieu de prélèvement	⁹⁰ Sr		
	année de prélèvement	Année de naissance	Bq / g Ca
Tessin	2003	1951, M	0.029±0.009
Tessin	2003	1928, M	0.048±0.010
Tessin	2003	1927, M	0.020±0.008
Tessin	2003	1938, F	0.021±0.008
Tessin	2003	1921, M	0.041±0.020
Tessin	2003	1939, M	0.036±0.010
Moyenne Tessin 2003			0.032±0.010
Lausanne	2003	1921, M	0.050±0.01
Lausanne	2003	1924, F	0.038±0.003
Lausanne	2003	1921, M	0.044±0.004
Lausanne	1966	Inconnu ^{a)}	0.212±0.023
Lausanne	2003	b)	0.032±0.004
Lausanne	2003	b)	0.040±0.007
Moyenne Lausanne 2003			0.040±0.010

a) Cette valeur a été obtenue sur un mélange d'os de personnes décédées en 1966 faisant partie de la bibliothèque d'échantillons de l'IRA, comme mesure de contrôle des activités. L'activité est recalculée à la date du décès.

b) Mélange de deux échantillons d'os de deux personnes décédées en 2003 (masse de l'échantillon unique insuffisante pour avoir une activité mesurable).

6.2.4 Discussion

L'activité moyenne en ⁹⁰Sr des os et des dents en 2003 est à nouveau très proche de 0.03 Bq/g Ca. Un rapport identique d'activité entre les os et les dents de lait montre que l'on se trouve actuellement dans une situation d'équilibre et ce même rapport se retrouve également dans la chaîne alimentaire, notamment dans le lait. En Suisse, la moyenne de ⁹⁰Sr Bq/g Ca dans le lait était en 2003

de 0.043±0.011 Bq/g Ca pour les sites de plaine (n=11). Dans les végétaux et le blé, ce rapport est environ dix fois supérieur (0.30 Bq/g Ca) mais l'apport en calcium au corps humain par ces aliments est nettement inférieur à celui des produits laitiers.

La figure 1 montre l'activité en ⁹⁰Sr des vertèbres en moyenne suisse depuis 1960. L'activité est

reportée en fonction de l'année de décès. Le maximum d'activité dans les vertèbres a été observé en 1967 et était de 0.180 Bq/g Ca soit une valeur inférieure de moitié à celle observées dans les dents au maximum de la contamination en ^{90}Sr (1963). Le décalage du maximum de l'activité de 1963 pour les dents vers 1967 pour les os semble également indiquer un intervalle de renouvellement du calcium dans les os poreux plus grand qu'une année et une fixation préférentielle du calcium par rapport au strontium.

La Figure 2 représente l'activité en ^{90}Sr des vertèbres prélevées entre 1978 et 1996 à Lausanne par rapport à l'activité en ^{90}Sr des dents de lait prélevées également à Lausanne durant la même période. Une corrélation très significative est obtenue ($r = 0.93$) mais la pente de 1.65 indique que les dents de lait contiennent 65% de plus d'activité que les vertèbres. Toutefois les dents de lait représentent un tissu calcifié en formation intra utérin et sur des nouveau-nés alors que le prélèvement de vertèbres s'effectue sur des personnes décédées à un âge souvent supérieur à 65 ans. L'incorporation du strontium dans les os prend place principalement par échange à la surface cristalline (apatite) de l'os. Plus le flux sanguin à la surface de l'os est grand, plus le remplacement du calcium par le strontium à la surface de l'os est efficace. Plusieurs facteurs peuvent affecter le renouvellement osseux à cet âge. Par exemple, le phénomène d'ostéoporose va dans le sens de la diminution de la densité osseuse, donc d'une diminution de la rétention du calcium et du strontium dans les os. De plus, le rapport Sr/Ca du plasma peut être modifié par rapport à celui de la diète par l'absorption de compléments de calcium (fluorure ou biphosphonates de calcium) utilisés dans le traitement de l'ostéoporose. Malgré ces désavantages, la détermination du ^{90}Sr dans les vertèbres humaines reste un excellent moyen de contrôler l'incorporation du ^{90}Sr dans le corps humain. Avec un rapport de 0.03 Bq/g Ca déterminé dans ce travail, le ^{90}Sr ne contribue pas de manière significative à la dose due à l'incorporation de radioéléments.

Suite à l'imposition du traité d'interdiction des essais atomiques dans l'atmosphère, l'activité en ^{90}Sr des dents de lait et des vertèbres a décliné de manière exponentielle, avec une période de 8.1 ± 2 ans pour les dents de lait et de 13 ± 2 ans pour les vertèbres. La différence de période peut s'expliquer par une plus grande réactivité de l'incorporation du ^{90}Sr dans les dents de lait aux variations de l'activité en ^{90}Sr de la chaîne alimentaire, en particulier des produits laitiers. Friedli et al [2] ont déterminé une période de décroissance du ^{90}Sr dans le lait en Suisse de 13 ans.

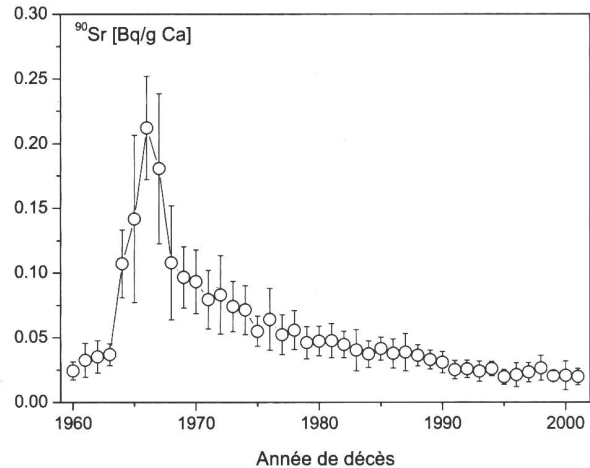


Figure 1
Activités moyenne en ^{90}Sr (Bq/g Ca) des vertèbres humaines prélevées entre 1960 et en Suisse.

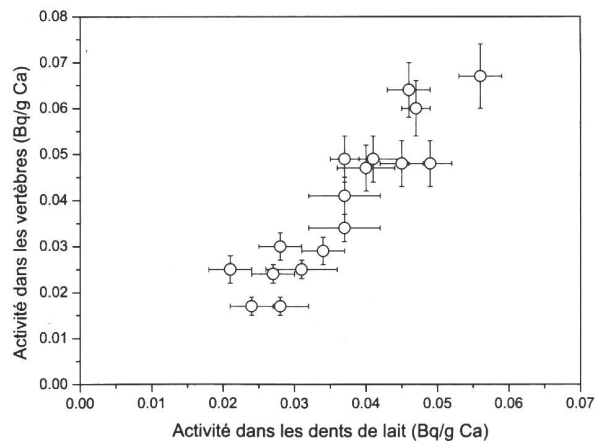


Figure 2
Activité des vertèbres prélevées à Lausanne entre 1978 et 1996 en fonction de l'activité des dents de laits prélevées à Lausanne pendant la même période.

6.2.5 Conclusions

Les compartiments du corps humain riches en calcium sont d'excellents intégrateurs du ^{90}Sr présent dans la chaîne alimentaire. Avec un rapport ^{90}Sr Bq/g Ca d'environ 0.03, les résultats obtenus en 2003 sur des échantillons de dents de lait et de vertèbres indiquent que le ^{90}Sr ne contribue pas de manière significative à la dose efficace. Dans la plupart des aliments, le ^{40}K naturel (env. 45 Bq/g Ca dans le lait) domine par rapport aux traces de radioéléments artificiels. Les résultats obtenus sur une période d'étude de 18 ans indiquent que les dents de lait incorporent environ 65% de plus de ^{90}Sr que les vertèbres. Depuis le milieu des années soixante et l'imposition du traité sur les tests d'armes atomiques, l'activité en ^{90}Sr dans le corps humain en Suisse diminue de manière

exponentielle, avec une période de 13 ± 2 ans pour les os et de 8.0 ± 2 pour les dents de lait.

Remerciements

Que toutes les personnes qui ont contribué à ce travail en fournissant les échantillons trouvent ici l'expression de notre reconnaissance : les instituts de pathologie de Lausanne et Locarno, les médecins dentistes privés et ceux des cabinets dentaires scolaires des cantons de Vaud, Valais, Tessin et Zürich.

Bibliographie

- [1] Ignatiev, E.A., Lyubashevskii, N.M., Shishkina, E.A., Romanyukha, A.A. EPR dose reconstruction for bone-seeking ^{90}Sr . *Appl. Radiat. Isot.* **1999**, 51, 151-159.
- [2] Friedly, C., Geering, J.J., Lerch, P. Some aspects of the behaviour of ^{90}Sr in the environment. *Radiochimica Acta*, **1991**, 52, 237-240.