

**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:** - (1996)

**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

**M. Boschung**<sup>1)</sup>, **A. Donath**<sup>2)</sup>, **J.-C. Corminboeuf**<sup>2)</sup>, **H. W. Roser**<sup>3)</sup> und **H. Völkle**<sup>4)</sup>

- 1) Abteilung Strahlenhygiene, PSI, 5232 VILLIGEN-PSI
- 2) Abteilung Nuklearmedizin des Kantonsspital, Av. Micheli-du-Crest 24, 1211 GENÈVE 4
- 3) Abteilung Radiologische Physik, Kantonsspital Basel, 4031 BASEL
- 4) Sektion Überwachung der Radioaktivität, BAG, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

#### 6.1.1. Zusammenfassung

*Ganzkörpermessungen zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes im menschlichen Körper werden regelmässig an Mitarbeitern des Paul-Scherrer-Institutes (PSI) in Villigen sowie an Gymnasiasten aus Genf und Basel durchgeführt. Im menschlichen Körper ist immer noch Caesium-137 nachweisbar, das vom Reaktorunfall in Tschernobyl stammt. Die Messwerte an Schülern aus Genf liegen alle unter der Nachweisgrenze von 10 Bq, jene der Schüler aus Basel (mit zwei Ausnahmen) unter 65 Bq.*

#### 6.1.2. Ziel der Messungen

Im PSI werden zur Zeit Ganzkörpermessungen nur zur Überwachung der beruflich strahlenexponierten Personen des PSI 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 Genf und Kantonsspital Basel-Stadt handelt es sich um je rund zwanzig 16-20-jährige Mädchen und Knaben aus Mittelschulen.

#### 6.1.3. Ergebnisse und Interpretation

Für die Ganzkörpermessungen werden meist grossvolumige NaJ-Kristalle neuerdings auch Ge-Detektoren in speziell abgeschirmten Messkammern (mit Blei- und Eisenabschirmung) eingesetzt. 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 Phantoms, dessen Aktivität bekannt ist.

Im Rahmen der Inkorporationsüberwachung der beruflich strahlenexponierten Personen wurden am PSI in Villigen 1996 716 Messungen im Ganzkörperzähler durchgeführt. Sie ergaben Cs-137-Werte bis 800 Bq. Rund 98% der Messwerte liegen unterhalb der Erkennungsgrenze von 100 Bq.

Die Messwerte an Gymnasiasten aus Genf lagen alle unter der Nachweisgrenze von 10 Bq Caesium-137. 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 auch einen höheren Kalium- und Caesium-Gehalt als diese.

Ein dauernder Gehalt von 100 Bq Caesium-137 im Körper einer 70 kg schweren Person führt zu einer Jahresdosis von ca. 0.003 milli-Sievert. Die Caesium-137-Werte der Genfer bzw. Basler Schüler entsprechen somit weniger als 0.0003 bis 0.0005 milli-Sievert pro Jahr. Demgegenüber beträgt die mittlere Jahresdosis durch das natürliche Kalium-40, das wie Caesium im Muskelgewebe eingebaut wird, ca. 0.2 milli-Sievert.

**Tab. 1: Übersichtstabelle Ganzkörpermessungen Genf und Basel, 1996**

| Messung    |                     | Geburtsjahr | Gewicht (kg)<br>Mittel<br>(Bereich) | <sup>137</sup> Cs<br>(Bq)  | <sup>40</sup> K<br>(Bq)<br>Mittel | <sup>40</sup> K<br>(Bq/kg)<br>Mittel |
|------------|---------------------|-------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Genf 1996  | Mädchen<br>(n = 23) | 1975-1981   | (48-64)<br>55                       | < 10                       | 3100                              | 58                                   |
|            | Knaben<br>(n = 18)  | 1977-1980   | (43-89)<br>67                       | < 10                       | 4700                              | 73                                   |
| Basel 1996 | Mädchen<br>(n = 14) | 1977-1979   | (48-85)<br>60                       | 0 - 64<br>(Mittel = 18)    | 3580                              | 60                                   |
|            | Knaben<br>(n = 20)  | 1976-1979   | (54-83)<br>67                       | 0 - 51 *)<br>(Mittel = 18) | 5084                              | 76                                   |

---

\*) Bei zwei Schülern wurden 86 bzw. 170 Bq Cs-137 im Körper festgestellt. Diese Werte sind bei den entsprechenden Range- und Mittelwertangaben nicht mitberücksichtigt. Zwei nachfolgende Cs-137-Bestimmungen 154 bzw. 105 Tage nach den ersten Messungen ergaben 65 bzw. 92 Bq. Befragungen der beiden Schüler bezüglich Aufenthaltsorten im letzten Jahr und/oder speziellen Essgewohnheiten ergaben beim ersten Schüler, dass er sich regelmässig in Skandinavien bei Verwandten aufhält. Weitere mögliche Gründe für die leicht erhöhten Cs-137-Werte konnten nicht eruiert werden.

## 6.2. Der neue Ganzkörperzähler am PSI

**M. Boschung**            Abteilung Strahlenhygiene,  
PSI, 5232 VILLIGEN-PSI

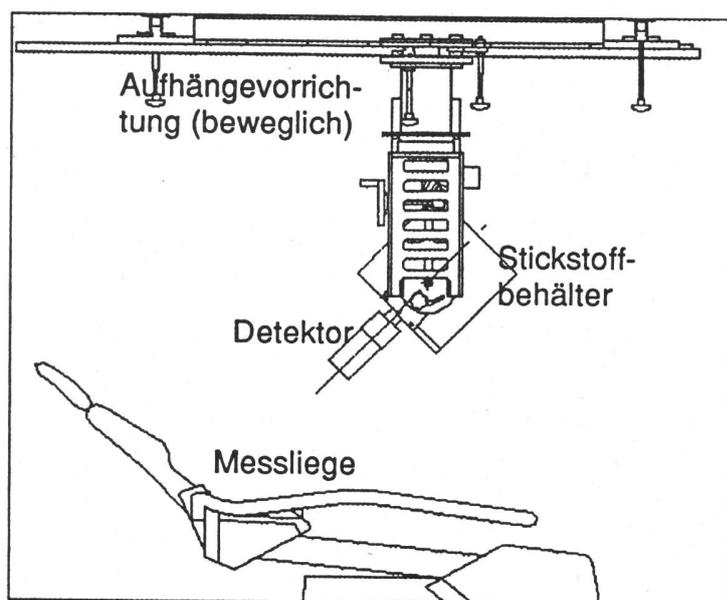
### 6.2.1. Zusammenfassung

Seit über 25 Jahren werden am PSI im Rahmen der Überwachung von Mitarbeitern regelmässig Ganzkörpermessungen durchgeführt. Als Detektor kommt dabei ein NaJ-Kristall zum Einsatz. Die neuen Möglichkeiten in der Halbleitertechnik, grossvolumige Kristalle herzustellen haben das PSI im Berichtsjahr dazu bewogen, auf der Basis eines solchen Germanium-Detektors einen neuen Ganzkörpermessplatz aufzubauen. Mit dem neuen Messplatz zur Bestimmung photonemittierender Radionuklide im menschlichen Körper basierend auf der Halbleiterdetektor-Technologie hat das PSI ein System, welches dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Neben den routinemässigen Messungen werden bei Verdacht auf Aktivitätsaufnahme auch Personen aus der Bevölkerung gemessen und wissenschaftliche Untersuchungen im Zusammenhang mit der Aufnahme von natürlichen Radon-Folgeprodukte durchgeführt.

### 6.2.2. Beschreibung des Messplatzes

Als Detektor wird ein koaxialer Germanium-Detektor vom p-Typ eingesetzt. Das empfindliche Volumen beträgt  $413 \text{ cm}^3$ . Der Detektor weist bei einer Energie von 1332-keV eine relative Nachweiswahrscheinlichkeit (bezogen auf einen 3x3-Zoll NaJ-Detektor) von 102 % auf. Die Energieauflösung bei 1332 keV beträgt 2.25 keV, was bezogen auf einen NaJ-Detektor eine Verbesserung um den Faktor 30 bedeutet. Mit flüssigem Stickstoff in einem 20 Liter fassenden Behälter wird der Kristall und der Vorverstärker auf  $77^\circ \text{ K}$  abgekühlt.

**Figur 1:** Ganzkörpermessplatz



Um den Anteil der natürlichen Untergrundstrahlung zu reduzieren, wurde der Messplatz in eine geschlossene Kammer in einer unterirdischen Schutzanlage gelegt. Die aus Stahl gebaute Kammer hat Innenabmessungen von  $270 \times 190 \times 240 \text{ cm}$  bei einer Wanddicke von 18 cm. Das Stahl stammt aus alten Eisenbahnschienen und weist eine sehr geringe Verunreinigung durch radioaktive Nuklide auf. Die Innenseite ist zusätzlich mit 3 mm Blei ausgekleidet. Die Kammer wurde früher am Universitäts-Spital Zürich verwendet. Die Dosisleistung in der Kammer beträgt  $24 \text{ nSv/h}$ .

Bei der Messung sitzt der Proband auf einer Messliege, die in der Höhe verstellt werden kann. Der Detektor ist in einem höhenverstellbaren Drehmechanismus mit senkrechter Achse montiert. Dieser ist an zwei orthogonalen Schienen an der Decke der Kammer aufgehängt und kann frei im Raum bewegt werden. Zusätzlich kann der Detektor um eine waagrechte Achse von 0° bis 90° geneigt werden. (Figur 1)

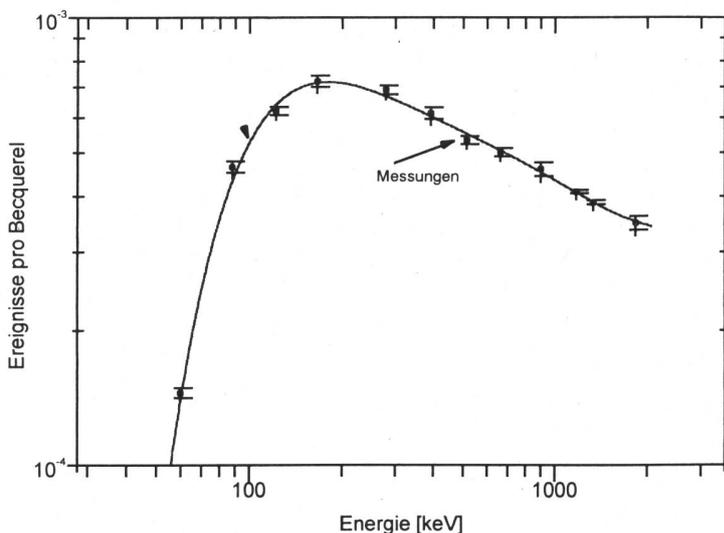
Eine Hochspannungsquelle liefert die benötigte Betriebsspannung von 4000 V. Der Vorverstärker ist direkt beim Kristall angebracht. Die negativen Impulse vom Vorverstärker werden durch einen linearen Verstärker in positive Spannungspulse von 0 bis 10 V verstärkt und geformt. Die im PC integrierte ADC-Karte wandelt die analogen Signale des linearen Verstärkers in digitale Zählereignisse um und legt diese in Funktion der Spannung in einem lokalen Speicherbereich ab. Ein kommerziell erhältliches Programm wird zur anschließenden Datenerfassung und Datenanalyse eingesetzt.

Bei den routinemässigen Messungen zur Bestimmung einer Ganzkörperaktivität werden von der zu untersuchenden Person keine speziellen Vorbereitungen verlangt. Um eine unnötige Kontamination der Messkammer über die Schuhe zu verhindern, müssen Überschuhe angezogen werden. Bei Verdacht auf Kontamination der Kleider oder von Körperteilen (Hände, Haare, usw.) sind jedoch besondere Vorkehrung zu treffen. In Extremfällen muss die Person duschen, die Haare waschen und ein sauberes Überkleid anziehen. Die Messzeit wird abhängig sein von der kleinsten, noch nachzuweisenden Aktivität. Während der Messung ist der Messraum und die Messposition durch ein Kameraüberwachungssystem jederzeit überschaubar. Eine Gegensprechanlage ermöglicht den Kontakt zwischen der Person und dem Messpersonal. Messungen der natürlichen Untergrundstrahlung sind nur nötig, wenn die Photonen der Untergrundstrahlung dieselben Energien aufweisen, wie die Photonen der interessierenden Nuklide. So ist für die Bestimmung der Ganzkörperaktivität von Kalium-40 eine Untergrundmessung erforderlich, da Kalium-40 auch im Material innerhalb der Abschirmkammer vorhanden ist.

### 6.2.3. Messergebnisse

Bei Untergrundmessungen mit dem Germanium-Zähler werden über den ganzen Energiebereich von 30 bis 2700 keV ca. 3.6 Impulse pro Sekunde registriert. Die erkennbaren Linien

**Figur 2:** Nachweisempfindlichkeit des Ganzkörpermesssystems des PSI



im Spektrum stammen von kleinsten Mengen radioaktiver Substanzen in den Materialien, welche im Messraum vorhanden sind (z.B. Stuhl, Farben, Detektorbehälter, Detektorabdeckung, Wände, Luft, usw.). Am deutlichsten erkennbar sind dabei die Linie des Kalium-40 und der Isotope der natürlichen Zerfallsreihen Thorium-232 und Uranium-238.

Für die Energie- und Halbwertsbreiten-Kalibrierung wurden Punktquellen verwendet. Eine Eichlösung mit

einem Gemisch von radioaktiven Nukliden wurde für die Bestimmung der Nachweisempfindlichkeit im Energiebereich von 50 bis 1836 keV gewählt. Die Eichlösung wurde in mehrere Wasserflaschen homogen verteilt. Diese Wasserflaschen wurden dann derart auf dem Messstuhl aufgebaut, dass eine Person von 70 kg simuliert werden konnte. Im Energiebereich zwischen 50 und 1900 keV liegen die Nachweisempfindlichkeiten bei dieser Anordnung zwischen  $10^{-3}$  und  $10^{-4}$  (siehe Figur 2). So werden z.B. pro 1000 Becquerel Kalium-40 im menschlichen Körper ca. 0.4 Ereignisse im Detektor registriert.

Unter der Nachweisgrenze wird in der Regel die minimal messbare Aktivität eines Nuklides verstanden. Nachweisgrenzen wurden bestimmt für die Messzeiten 5 Min., 15 Min., 1 h und 1 Tag. Der Vergleich mit Werten des herkömmlichen NaJ-Systems zeigt, dass schon ab einer Messzeit von 5 Minuten eine verbesserte Nachweisgrenze erreicht werden kann. Um die nach groben Schätzungen im menschlichen Körper aus dem Tschernobyl-Ereignis noch vorhandene Restaktivität an Cäsium-137 von ca. 20 Becquerel nachweisen zu können, sind demnach unrealistische Messzeiten von über 1 Tag notwendig.

### Einige Nachweisgrenzen bei NaJ- und Germanium-Detektoren

| Detektortyp  | Germanium (102%) |        |       |       | NaJ (4"x4") |
|--------------|------------------|--------|-------|-------|-------------|
|              | Messzeit         |        |       |       | Messzeit    |
| Element      | 5 min            | 15 min | 1h    | 1 Tag | 15 min      |
| Cäsium-137   | 70 Bq            | 51 Bq  | 25 Bq | 17 Bq | 100 Bq      |
| Cobalt-60    | 76 Bq            | 41 Bq  | 21 Bq | 11 Bq | 100 Bq      |
| Strontium-85 | 85 Bq            | 22 Bq  | 19 Bq | 16 Bq | -           |

## 6.3. Mesures de strontium-90 dans les vertèbres et les dents

**J.-J. Geering, J.-F. Valley**

Institut de radiophysique appliquée  
Centre Universitaire, 1015 LAUSANNE

### Résumé

*En 1996, les déterminations de strontium-90 effectuées dans le cadre de la surveillance de la radioactivité en Suisse ont porté non seulement sur des échantillons de sol, d'herbe, de lait, de froment (Cf. 7.2), mais aussi de vertèbres humaines et de dents de lait. Les résultats restent comparables à ceux des années précédentes. Une augmentation insignifiante de l'activité du strontium-90 dans les vertèbres et dans les dents de lait d'enfants nés après 1986 a pu être décelée. Les activités en strontium-90 des vertèbres et des dents de lait tendent actuellement vers un état d'équilibre. Le rapport des activités, exprimées en Bq/g calcium, des vertèbres à celles des denrées alimentaires, se stabilise actuellement vers 0,20.*

### 6.3.1. Introduction

Les déterminations en routine du strontium-90 dans le squelette humain et les dents de lait doivent permettre de déceler à son tout premier stade une éventuelle augmentation de la concentration de ce radionucléide dans le corps humain. Le risque d'ingestion du strontium-90 est dû à sa longue période (28,5 ans), à l'énergie bêta maximale élevée de son produit de filiation, l'yttrium-90 (2,3 MeV), et au fait que le strontium, dont le métabolisme est apparenté, mais non identique à celui du calcium, se fixe dans le squelette et les autres tissus calcifiés [1,2]. Il existe cependant des différences entre les comportements métaboliques du calcium et du strontium qui se traduisent par une diminution du rapport Sr-90/Ca [3] au cours du métabolisme du calcium. Remarquons que le strontium étant plus difficile à mesurer que le calcium, les activités en Sr-90 sont rapportées en général au calcium plutôt qu'au strontium. De plus, la régulation homéostatique du calcium entraîne une concentration remarquablement constante de cet élément dans le squelette, le plasma et le lait de sorte que le métabolisme du strontium-90 est déterminé par la teneur en calcium plutôt que par les concentrations, faibles et variables, en strontium naturel.

Les analyses ont été effectuées sur des corps vertébraux, constitués d'os spongieux, car le métabolisme des alcalinoterreux est plus rapide dans ce tissu caractérisé par une très grande surface que dans les os longs, constitués de tissu compact [4].

Les analyses de strontium-90 ont porté sur des échantillons de vertèbres fournies par les instituts d'anatomie pathologique de Lausanne, Zürich, Locarno et Sion. Les collectes de dents de lait ont été poursuivies dans les cabinets dentaires scolaires de Lausanne, St. Gall, Zürich et Locarno, ainsi qu'auprès de dentistes privés dans les cantons respectifs.

### 6.3.2. Résultats de la surveillance

Les marges d'erreur sur les résultats individuels indiquent l'écart-type (comptage et séparation chimique), les marges d'erreur sur les moyennes de plusieurs résultats indiquent l'écart-type sur la moyenne.

#### Vertèbres

Le tableau 1 présente les résultats d'analyses de strontium-90 dans les vertèbres d'adultes décédés en 1996, comparés à ceux de 1995. La teneur moyenne de strontium-90 dans les os correspond à une dose effective d'environ 0,002 mSv/année.

**Tableau 1: Concentration en Sr-90 (Bq/g Ca) dans les vertèbres humaines**

| Région                  | Année de décès   |                  |
|-------------------------|------------------|------------------|
|                         | 1995             | 1996             |
| Tessin                  | 0,019±0,001 [7]  | 0,017±0,001 [7]  |
| Lausanne                | 0,021±0,003 [8]  | 0,021±0,003 [9]  |
| Valais                  | 0,020±0,003 [6]  | 0,023±0,004 [7]  |
| Zürich                  | 0,018±0,001 [7]  | 0,027±0,003 [8]  |
| <b>Moyenne générale</b> | 0,020±0,001 [28] | 0,022±0,009 [31] |

[ ] = nombre de déterminations

On ne constate actuellement plus de différence significative de l'activité en strontium-90 des vertèbres entre régions (Suisse alémanique, Suisse romande et Tessin) comme ce fut le cas après les retombées des années soixante. Ce nivellement peut s'expliquer par l'uniformisation de la production et des habitudes alimentaires de la population sur l'ensemble du territoire suisse.

#### Dents de lait

Le tableau 2 présente les moyennes des activités en strontium-90 des dents de lait collectées en 1996, comparées à celles de 1995. En comparant individuellement les activités mesurées dans les 4 régions, aucun effet significatif dû à l'année de naissance, l'âge des enfants, ou la région de collection n'a été constaté. Le strontium-90 se fixe dans les couronnes de dents principalement dans les 6 mois qui précèdent et les 6 mois qui suivent la naissance de l'enfant. L'activité en strontium-90 des dents de lait constitue donc un indicateur de la contamination des denrées alimentaires durant cette époque. Ces déterminations méritent donc d'être poursuivies ces prochaines années.

**Tableau 2: Concentration en Sr-90 (Bq/g Ca) dans les dents de lait**

| Ville           | Années de naissance    | 1995                       | Années de naissance    | 1996                       |
|-----------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| Vaud            | 1)                     | 1)                         | 1979-1985<br>1986-1989 | 0,051±0,012<br>0,042±0,002 |
| Tessin          | 1980-1985<br>1986-1988 | 0,048±0,015<br>0,051±0,025 | 1980-1985<br>1986      | 0,046±0,005<br>0,049±0,005 |
| Valais          | 1979-1985<br>1986-1990 | 0,056±0,029<br>0,034±0,007 | 1)                     | 1)                         |
| Zürich          | 1980-1985<br>1986-1987 | 0,035±0,019<br>0,060±0,007 | 1980-1985<br>1986-1990 | 0,048±0,004<br>0,044±0,003 |
| <b>Moyennes</b> | Avant 1986<br>Dès 1986 | 0,045±0,008<br>0,044±0,010 | Avant 1986<br>Dès 1986 | 0,048±0,007<br>0,041±0,007 |

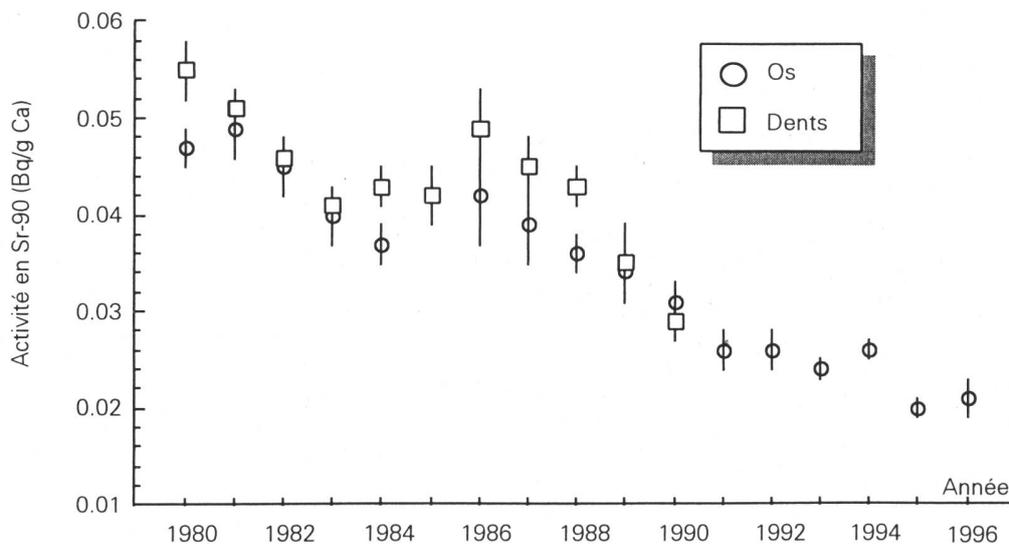
1) récolte de dents insuffisante

### 6.3.3. Evolution de l'activité en strontium-90

La figure 1 présente l'évolution de l'activité en strontium-90 de l'ensemble des vertèbres et des dents de lait mesurées de 1980 à 1996. Les activités des vertèbres sont rapportées à l'année de décès et celles des dents de lait à l'année de naissance de l'enfant, qui correspond à l'année de formation de la dent. Le grand nombre de déterminations que nous avons pris en considération permet de mettre en évidence une très légère augmentation de l'activité en strontium-90 des vertèbres et de dents en 1986, sans qu'on puisse conclure à une influence de l'accident de Tchernobyl.

La figure 1 montre également que depuis 1991 les activités en strontium-90 dans les os ne diminuent que très peu dans le temps et tendent vers un état d'équilibre, l'apport en strontium-90 dans les vertèbres étant compensé par son élimination. Depuis 1988, les activités rapportées au calcium sont devenues pratiquement égales dans les vertèbres et les dents de lait.

**Figure 1: Evolution de l'activité en strontium-90 de 1980 à 1996 rapporté à l'année de naissance (dents) resp. à l'année de décès**



Le rapport entre les activités, exprimées en Bq/g calcium, du strontium-90 dans les vertèbres à celles du lait, calculé pour la période de 1991 à 1996, est de  $0,35 \pm 0,01$  en moyenne. En admettant un rapport constant de 1,7 entre l'activité en strontium-90 (en Bq/g calcium) dans les aliments et dans le lait, on obtient, pour nos valeurs, un "rapport observé" de l'activité en strontium-90 dans les vertèbres à celle des aliments de 0,20, qui correspond à la valeur à l'équilibre ("Observed ratio") préconisée par l'ICRP 20 [4].

### **6.3.4. Conclusions**

Les déterminations de strontium-90 effectuées en Suisse en 1996 dans les vertèbres humaines et les dents de lait ont donné des résultats comparables à ceux mesurés les années précédentes. En considérant l'ensemble des déterminations de strontium-90 dans les os d'adultes et les dents de lait rapportées à l'année de naissance de l'enfant, on a constaté une très légère augmentation de la concentration du strontium-90 en 1986, sans qu'il soit possible de l'attribuer à l'accident de Tchernobyl. Depuis 1988, les activités en strontium-90 des vertèbres et des dents de lait sont égales. Le rapport observé de l'activité en strontium-90, exprimée en Bq/g calcium, dans les os à celle des denrées alimentaires est de 0,20 en moyenne pour la période de 1991 à 1996. Cette valeur est en bon accord avec l'Observed Ratio (OR) à l'état d'équilibre proposée par l'ICRP 20.

### **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, Locarno, Sion et Zürich, les médecins dentistes privés concernés et ceux des cabinets dentaires scolaires de Lausanne, Lugano, St. Gall, Sion et Zürich, ainsi que le Dr G. Ferrazzini à Lugano.

### **Bibliographie**

- [1] Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, UNSCEAR Report, United Nations Publication, New-York 1982.
- [2] Some Aspects of Strontium Radiobiology, NCRP Report N° 110, Bethesda, 1991, p. 38-48.
- [3] Strontium Metabolism, Proceedings of the International Symposium on Some Aspects of Strontium Metabolism, Chapelcross, 1967, edited by J.M.A. Lenihan.
- [4] ICRP Publication 20, Alkaline Earth Metabolism in Adult Man, 1973.