

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: - (1992)

Rubrik: Überblick : Umweltradioaktivität und Strahlendosen im Überblick = Aperçu : aperçu de la radioactivité de l'environnement et des doses de rayonnement = Ricapitolazione : radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiation [i.e. irradiazione] in Svizzera = Synopsis : environmental radioactivity and radiation exposure in Switzerland

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: 01.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

A

ÜBERBLICK - APERÇU - RICAPITOLAZIONE - SYNOPSIS

UMWELTRADIOAKTIVITÄT UND STRAHLENDOSEN IM ÜBERBLICK	A. 1
APERÇU DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT ET DES DOSES DE RAYONNEMENT	A.13
RADIOATTIVITÀ DELL'AMBIENTE E DOSI D'IRRADIATION IN SVIZZERA	A.27
ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AND RADIATION EXPOSURE IN SWITZERLAND	A.40

A. UMWELTRADIOAKTIVITÄT UND STRAHLENDOSEN IM ÜBERBLICK

H. Völkle, Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUER),
Bundesamt für Gesundheitswesen, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse der Umweltradioaktivitätsüberwachung für das Jahr 1992, deren Interpretation und die sich daraus ergebenden Strahlendosen der Bevölkerung zusammengefasst. Überwacht wird die Radioaktivität in Luft, Niederschlägen, Gewässern, Boden, Gras, Lebensmitteln etc. aber auch die natürliche Radioaktivität, die Strahlenexposition durch Radon im Hausinnern, die Radioaktivitätsabgaben aus Kernanlagen und andern Betrieben sowie weitere Strahlenquellen. Kernkraftwerke und Betriebe, die über eine Bewilligung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen verfügen, haben 1992 die Limiten für Abgaben an die Umwelt eingehalten und die Messungen in der Umwelt ergaben keine unzulässigen Immissions- bzw. Dosiswerte. Für die durchschnittlichen Strahlendosen der Bevölkerung ergeben sich ähnliche Werte wie im Vorjahr, wobei an der gesamten Dosis von rund 4.6 mSv pro Jahr das natürliche Radon im Hausinnern mit 2.2 mSv den grössten Teil ausmacht; die Beiträge durch die künstliche Radioaktivität ohne medizinische Anwendungen betragen dagegen weniger als 0.2 mSv pro Jahr.

1. Gesetzliche Regelungen und verwendete Grössen und Einheiten

Gemäss den **gesetzlichen Vorschriften**, wie sie in der Strahlenschutzverordnung (SSVO) von 1976 festgelegt sind, dürfen Radioaktivitätsabgaben aus Betrieben an die Umwelt höchstens zu Immissionen führen, die bei Dauerexposition über Atemluft und Trinkwasser eine jährliche Dosis von je 0.5 mSv verursachen. Im Weiteren sind Nahrungsmittel dann zu beanstanden und dürfen nicht frei in den Verkehr gebracht werden, wenn die Konzentration von Caesium-134 und Caesium-137 zusammen, bezogen auf den verzehrsbereiten Zustand, folgende Werte übersteigt: Milch, Rahm, Milchkonserven und Kindernährmittel 370 Bq/kg, bei den übrigen Lebensmitteln 600 Bq/kg. Eine neue Strahlenschutzverordnung (STRAVO), die auf den neuesten ICRP-Empfehlungen von 1991 [1] und dem neuen Strahlenschutzgesetz basiert, ist in Vorbereitung.

Die Ergebnisse der **Radioaktivitätsmessungen** werden in Becquerel (Bq/kg, Bq/L, Bq/m²) angegeben, wobei ein Bq einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde entspricht. Für die Umrechnung der alten Einheit Curie (Ci) gilt: 1 nCi = 37 Bq bzw. 1 pCi = 37 mBq oder 1 Bq = 27 pCi (p = pico = 10⁻¹²). Die Präfixe milli-, micro- bzw. nano- bedeuten ein Tausendstel, ein Millionstel bzw. ein Milliardenstel.

Die **Strahlendosen** der Bevölkerung werden als effektive Dosis E in mSv (milli-Sievert) angegeben. Diese, definiert als gewichtete Summe der einzelnen Organdosen, gilt als Bewertungsgrösse für die biologische Wirkung der Strahlung auf den ganzen Menschen und ist unabhängig von Art und Herkunft derselben. Bei der Strahlenwirkung unterscheiden wir zwi-

schen Auswirkungen am bestrahlten Individuum selbst (z.B. Krebs), die man **somatisch** nennt, und den **Erbschäden**, die sich erst bei den Nachkommen bemerkbar machen. Im weiteren unterscheidet man zwischen **externer Bestrahlung**, wenn sich die Strahlenquelle ausserhalb des Körpers befindet und **interner**, wenn Radioaktivität über Nahrung, Trinkwasser oder Atemluft in den Körper gelangt. Die externen Personenendosen ergeben sich aus den gemessenen Ortsdosen durch Multiplikation mit einem gerundeten Umrechnungsfaktor von $1 \text{ Sv} \approx 100 \text{ R}$ (bzw. $10 \text{ nSv/h} \approx 1 \mu\text{R/h}$); dabei ist zusätzlich auch die Aufenthaltszeit von Personen in diesem Strahlenfeld zu berücksichtigen, sodass die Personenendosen in der Regel nur ein Bruchteil der gemessenen Ortsdosen ausmachen.

Bezüglich Herkunft der Strahlendosen unterscheiden wir zwischen der **natürlichen Strahlenexposition** durch terrestrische Radioaktivität, kosmische Strahlung und Radioaktivität im menschlichen Körper sowie der **künstlichen Strahlenexposition** durch Kernwaffen- und Tschernobylausfall, Abgaben aus Kernanlagen, Industrien, Spitälern etc. und durch andere medizinische und technische Anwendungen von Strahlung und Radioaktivität.

2. Ziele des Überwachungsprogrammes und beteiligte Stellen

Die Überwachung verfolgt drei Hauptziele:

1. **Grossräumig verbreitete Umweltradioaktivität** (insbesondere langlebige, künstliche Radionuklide; Erfassen schwacher, langfristiger Trends)
2. **Immissionen künstlicher Radionuklide** (Umgebung von Kernanlagen, Betrieben und Spitälern; Überprüfung der Einhaltung der Immissionsgrenzwerte)
3. **Strahlendosen der Bevölkerung** aus künstlichen und natürlichen Quellen (regionale bzw. nationale Mittelwerte und Wertebereiche; hier kommt dem Radon im Wohnbereich ein besonderes Gewicht zu)

Das Gewinnen wissenschaftlicher Erkenntnisse über das Verhalten von Radionukliden im Ökosystem kann nicht Hauptziel eines solchen Überwachungsprogrammes sein. Die vorhandenen Messergebnisse ermöglichen nur in beschränktem Masse Rückschlüsse über Transport und Verhalten von Radionukliden in der Umwelt, z.B. die Bestimmung von Transferfaktoren.

Das Routinemessprogramm umfasst die externen Strahlendosen, die Radioaktivität der Aerosole in der Luft, die Niederschläge, die Ablagerung auf Boden und Gras, die Lebensmittel (Milch, Getreide und stichprobenweise auch Gemüse, Fleisch, Wild, Pilze, Importwaren und weitere), die Radioaktivität im menschlichen Körper (Caesium-137, Strontium-90, Kalium-40), die Gewässer (Oberflächen- und Grundwasser, Wasserpflanzen, Fische, Sedimente), sowie die Abwässer aus Kernanlagen, Betrieben und Spitälern. Spezialprogramme befassen sich mit den Radon-Messungen in Wohnhäusern und im Boden, der Umgebungsüberwachung von Kernanlagen, der Erfassung der natürlichen Radioaktivität, sowie gewissen grossräumig verbreiteten, langlebigen anthropogenen Radionukliden wie Tritium, Kohlenstoff-14, Argon-37, Krypton-85. Die Messprogramme und Überwachungsverfahren entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik; die Labors pflegen hierzu Kontakt zu Fachstellen und Laboren im Ausland.

An der Durchführung dieses Programmes, insbesondere an den Probenahmen, Messungen und der Berichterstattung sind - unter Koordination durch das BAG - zahlreiche Laboratorien und Stellen des Bundes, der Kantone (Kantonale Laboratorien) und der Hochschulen (ETH und Universitäten) beteiligt. All' diesen Instanzen sowie auch den zahlreichen Betreuern der Probenahmestationen, Regensammler, Luftüberwachungsanlagen etc. danken wir für die hervorragende Zusammenarbeit. Ohne das Mitwirken und die fachliche Kompetenz dieser Stellen wäre eine umfassende Überwachung kaum möglich. Bestens gedankt sei auch Frau M. Gobet für die Schreibarbeiten und Herrn A. Gurtner für die graphischen Darstellungen.

3. Strahlenexposition durch Radon und -Folgeprodukte im Hausinnern

Radon und seine Folgeprodukte verursachen mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von 2.2 mSv/Jahr etwa die Hälfte der mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung. Extremwerte bis 150 mSv/Jahr wurden ermittelt¹⁾. Radon ist ein Zerfallsprodukt des im Erdboden vorhandenen natürlichen Radium. Als Edelgas dringt es hauptsächlich vom Bauuntergrund her in das Hausinnere ein und kann sich dort anreichern. Seine radioaktiven Folgeprodukte führen nach Einatmen zu einer Lungenbestrahlung und damit möglicherweise zu einem erhöhten Lungenkrebsrisiko. Das im amerikanischen BEIR-IV-Report [2] veröffentlichte Rechenmodell ergibt, dass in der Schweiz etwa ein Siebtel der Lungenkrebstodesfälle dem Radon zuzuordnen sind. Diese Aussage konnte jedoch bisher durch epidemiologische Studien nicht belegt werden.

Ueber die bisherigen Erhebungen und Untersuchungen zum Thema Radon in der Schweiz geben der RAPROS-Bericht [3] sowie der BAG-Bericht zur Umweltradioaktivität für 1989-90 [4] ausführlich Auskunft.

Die im Rahmen des RAPROS-Programmes durchgeführten Erhebungen in Schweizer Wohnhäusern ermöglichen heute eine gesicherte Berechnung der durchschnittlichen Radonkonzentrationen. Der bisherige Erfassungsgrad der Wohnhäuser liegt jedoch erst bei .3 Promille, anzustreben wäre aber ein Wert von etwa 1 Prozent. Die gegenwärtig laufenden Untersuchungen und jene der kommenden Jahre haben mit erster Priorität das Auffinden hoher Radon-Konzentrationen zum Ziel. Entsprechende regionale Kampagnen in Gegenden, wo bisher erhöhte Werte auftraten oder aufgrund geologischer Kriterien zu erwarten sind, werden in Zusammenarbeit mit den Kantonsbehörden geplant und durchgeführt. Dabei sollen, zum bes-

-
- 1) Von der gemessenen Radon-Gas-Konzentration im Hausinnern kann wie folgt auf die jährliche effektive Dosis (E) geschlossen werden:

$$E \text{ [mSv/Jahr]} = C_{Rn} \cdot F \cdot T \cdot DF_{Rn}$$

Dabei ist C_{Rn} die gemessene Radon-Gas-Konzentration in Bq/m^3 . Für den Gleichgewichtsfaktor F zwischen den Radon-Folgeprodukten und dem Radon-Gas wird ein Schätzwert von 0.4 und für die Aufenthaltszeit T im Hausinnern von 6570 Stunden angenommen (75 % von 8760 Stunden). DF_{Rn} ist der Dosisfaktor für den Wohnbereich mit, gemäss ICRP-50 [5], $10^{-5} \text{ mSv/Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$. Aus dem bezüglich Haustyp, Bevölkerungsverteilung und Sommer-Winter-Unterschied gewichteten, arithmetischen Mittel der Radon-Gas-Konzentration in Schweizer Wohnhäusern von 66 Bq/m^3 , ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 1.8 mSv. Wird zusätzlich dem Radon im Freien sowie den Thoron-Folgeprodukten mit je 10% Rechnung getragen, erhöht sich der Wert auf rund 2.2 mSv pro Jahr. Die Radon-Exposition in der häufig verwendeten Einheit WLM (Working-Level-Month) erhält man aus $C_{Rn} \cdot F \cdot T$ dividiert durch den Faktor $6.3 \cdot 10^5 \text{ Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}/\text{WLM}$.

seren Verständnis der Radonausbreitung in Gebieten mit potentieller Radon-Gefährdung, auch die geologischen Aspekte miteinbezogen werden. Bisherige Kampagnen haben in den Kantonen Graubünden, Tessin, Waadt und Wallis stattgefunden, weitere laufen in den Kantonen Genf und Tessin; geplant sind zusätzliche Kampagnen in den Kantonen Glarus, Waadt, Wallis, Aargau, Uri, Schwyz, Ob- und Nidwalden.

Weitere Arbeiten im Rahmen des Radon-Programmes befassen sich mit Sanierungstechniken bei Häusern mit hohen Radon-Konzentrationen. Es konnten bereits einige Häuser erfolgreich saniert und entsprechende technische Empfehlungen zuhanden der Baufachleute ausgearbeitet werden.

4. Strahlenexposition durch grossräumig verbreitete, natürliche und künstliche Radionuklide in der Umwelt

In **Luft und Niederschlägen** war die künstliche Aktivität wie schon in den Vorjahren auch 1992 sehr tief. In der Luft lag sie bei einigen bis 12 (Tessin) $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ Luft für Caesium-137, das zum grösseren Teil auf Resuspension von Tschernobyl-Ablagerungen zurückzuführen ist. Andere künstliche Radionuklide konnten keine nachgewiesen werden. Das in der Luft vorhandene Beryllium-7 zeigt jahreszeitliche Variationen mit einem Maximum im Sommer und Werten zwischen 1 und 5 mBq/m^3 . Messungen der radioaktiven Edelgase Krypton-85 und Argon-37 in der Luft ergaben im Durchschnitt für das erstere etwa 1 Bq/m^3 während die Werte des letzteren zwischen 1 und 4 mBq/m^3 schwanken. Beim in der Luft vorhandenen Kohlenstoff-14 nimmt der künstliche, noch von den Atombombenversuchen stammende, Beitrag weiter ab und liegt heute bei etwa 12 % des natürlichen Wertes. Der Beitrag der künstlichen Radionuklide in der Luft zur externen Strahlendosis sowie zur Inhalationsdosis ist mit weniger als ein Zehntausendstel mSv pro Jahr vernachlässigbar. Die künstliche Aktivität in den Niederschlägen lag durchwegs unter der Messgrenze von 0.04 Bq/L. Die 1992 mit den Niederschlägen bzw. trocken abgelagerte Radioaktivität betrug im Tessin (Locarno-Monti) 14 bzw. weniger als 3 Bq/m^2 für Caesium-137 sowie 1100 bzw. 19 Bq/m^2 für das natürliche, durch die kosmische Strahlung erzeugte, Beryllium-7. Der Tritiumgehalt in den Niederschlägen in durch Abgaben aus Betrieben unbeeinflussten Regionen liegt in den Monatsproben noch bei 1 bis 3 Bq/L.

Bei der Radioaktivität in den **Erd- und Grasproben** war 1992 gegenüber dem Vorjahr kein signifikanter Unterschied feststellbar, mit Ausnahme des Caesium-134, das aufgrund seiner Halbwertszeit von zwei Jahren allmählich verschwindet. Die in den Bodenproben gemessenen regionalen Unterschiede beim Caesium-137 zeigen das schon 1986 festgestellte Muster des Tschernobyl-Ausfalles, d.h. sie sind im Tessin (10 - 40 kBq/m^2), in den meistbetroffenen Regionen von Alpen, Jura und Ostschweiz (5 - 20 kBq/m^2) höher als in der übrigen Schweiz (0.3 - 3 kBq/m^2). Beim Caesium-137 vom Atombombenfallout sind die Unterschiede weniger gross: in den Alpen ca. 2 - 8 kBq/m^2 , in der übrigen Schweiz etwa 1 bis 4 kBq/m^2 . Das auf dem Erdboden abgelagerte Caesium-137 zerfällt mit seiner Halbwertszeit von 30 Jahren und dringt auf Naturböden allmählich in tiefere Erdschichten ein (1992 für das Tschernobyl-Caesium bis etwa 10 cm und bis 30 cm für das Fallout-Caesium). Bei landwirtschaftlich genutzten Böden wird es zudem durch das Pflügen über eine Tiefe von ca. 30 cm verteilt. Auf Waldböden verweilt das Caesium länger in der obersten Schicht, weshalb in Wäldern sein Beitrag zur externen Strahlendosis heute etwa doppelt so gross ist. Mit dem Regenwasser wird in der Regel nur ein unbedeutender Anteil wegtransportiert. Auch beim Strontium-90 ist

heute meist eine gleichmässige Vermischung bis in ca. 30 cm Tiefe festzustellen. Ausser den genannten Radionukliden sowie Spuren von Antimon-125 im Tessin bzw. Cobalt-60 in der Nahumgebung des KKW Mühleberg war keine künstliche Radioaktivität nachweisbar.

Die **externen Strahlendosen** im Freien werden vor allem durch die Radioaktivität im Erdboden und die kosmische Strahlung verursacht, wobei die letztere mit steigender Höhe über Meer zunimmt. Diese Dosen werden einerseits durch die in-situ-Spektrometrie, d.h. vor-Ort-Messungen der einzelnen Komponenten der künstlichen und natürlichen Radioaktivität im Erdboden, sowie durch das automatische Überwachungsnetz für die Ortsdosen, NADAM, überwacht. Die 1992 durchgeführten in-situ-Messungen ergaben an den untersuchten Stellen Ortsdosen von total 0.7 bis 1.8 mSv/Jahr. Davon macht der natürliche Anteil etwa 0.7 bis 1.3 mSv aus und stammt von den im Boden vorhandenen Radionukliden wie Kalium-40 und den Isotopen der Uran/Radium- und Thorium-Zerfallsreihen sowie der kosmischen Strahlung. Der künstliche Anteil durch anthropogene Radioaktivität, im wesentlichen Caesium-137, einerseits vom Kernwaffenausfall und andererseits vom Tschernobyl-Unfall sowie u.U. lokal durch KKW-Abgaben, variiert zwischen 0.02 und 0.6 mSv/Jahr. Davon liegt der Tschernobyl-Anteil zwischen 0.01 mSv/Jahr in der Westschweiz und 0.6 mSv/Jahr im Tessin, während der Beitrag der früheren Kernwaffenversuche an allen Messorten noch etwa 0.01 mSv/Jahr ausmacht. Andere künstliche Beiträge wurden keine festgestellt. Der Beitrag des September-Zwischenfalles von 1986 beim KKW Mühleberg betrug am kritischen Ort Ufem Horn 1992 noch maximal 0.05 mSv pro Jahr.

Das aus 58 Stationen bestehende automatische **NADAM-Netz**, dessen Daten alle 10 Minuten an die Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich übermittelt werden, ergab für die einzelnen Standorte 1992 Jahresmittelwerte zwischen 1.0 und 1.3 mSv/Jahr für Jura, Mittelland und Voralpen bzw. 1.1 bis 2.0 mSv/Jahr für Hochalpen und Südschweiz. Da das Tschernobyl-Caesium im Erdboden zerfällt und zudem langsam in tiefere Bodenschichten eindringt, nimmt die Ortsdosis allmählich etwas ab. Dieser Rückgang von etwa 3%/Jahr in den letzten 5 Jahren konnte am Beispiel der Stationen Lugano und Hinterrhein aufgezeigt werden.

Im **Hausinnern** wird die externe Strahlendosis einerseits gegenüber draussen durch die Hauswände etwas geschwächt, andererseits kommt ein Beitrag durch die Radionuklide in Baumaterialien hinzu. Gesamthaft überwiegt meist der letztere gegenüber der Schwächung durch die Hauswände. Der sogenannte "Housing-Factor", d.h. das Verhältnis der Dosis im Hausinnern zu derjenigen im Freien beträgt etwa 1.3. Geht man von einer Aufenthaltszeit im Freien von 20 % (d.h. 80 % im Hausinnern) aus, so erhält man, unter Benutzung eines Umrechnungsfaktors für die gemessenen Ortsdosen in Personendosen, einen Durchschnittswert von 0.45 mSv/Jahr für die externe terrestrische Strahlenexposition und 0.34 mSv/Jahr für den kosmischen Anteil.

Die Überwachung der aquatischen Systeme umfasst **Oberflächen- und Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen, Sedimente, sowie Abwässer aus Kläranlagen und Deponien**. In den regelmässig erhobenen Flusswasserproben waren ausser Tritium künstliche Radionuklide meist nicht nachweisbar. Der Caesium-137-Gehalt in den Fischen des nach Tschernobyl meistbelasteten Luganersee ist deutlich zurückgegangen und lag 1992 unter 100 Bq/kg. In Sedimenten sind noch Caesium-Beiträge feststellbar, vorwiegend vom Reaktorunfall Tschernobyl, unterhalb der Kernanlagen auch Beiträge aus den flüssigen Abgaben dieser Betriebe sowie in Oberflächengewässern z.T. Tritium aus der Leuchtfarbenherstellung und -Anwendung bzw. Jod-131 aus den Spitälern. Für die Umgebung der Kernanlagen bzw. der Betriebe und Spitäler vergleiche Abschnitt 5 bzw. 6.

Die Überwachung der **Radioaktivität der Lebensmittel** erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den kantonalen Laboratorien. In den Hauptnahrungsmitteln Milch, Getreide und Fleisch ist die künstliche Radioaktivität (Caesium-134, Caesium-137 und Strontium-90) gering und auf der Alpennordseite meist unter der Messgrenze. Noch teilweise erhöhte Caesium-Werte als Folge des Tschernobyl-Unfalles ergaben sich in importiertem Wildfleisch, bei gewissen einheimischen Wildpilzen - hauptsächlich Maronenröhrlinge und Zigeunerpilze - sowie bei importierten Pilzen. Dabei ist gegenüber dem Vorjahr ein geringfügiger Rückgang zu verzeichnen. In Anbetracht der geringen Konsumraten von Wildfleisch und Pilzen sind die entsprechenden Strahlendosen klein. Aus dem Caesium-Gehalt der Lebensmittel lässt sich 1992 für die Schweiz für Personen mit durchschnittlichen Ernährungsgewohnheiten eine Strahlenexposition von einigen Tausendstel mSv berechnen. Auch der regelmässige Konsum von handelsüblichen Mineralwässern mit geringem Gehalt an natürlichen Radionukliden führt, wie die Untersuchungen von 1991 gezeigt haben, zu höchstens einigen hundertstel mSv pro Jahr [4].

Die Kontrolle der **Radioaktivität im menschlichen Körper** erfolgt durch Strontium-90-Bestimmungen an menschlichen Wirbelknochen und Milchzähnen sowie durch Ganzkörpermessungen, d.h. in-vivo-Bestimmungen von Caesium und Kalium im Körper. Strontium verhält sich physiologisch ähnlich wie Calcium und wird beim Menschen vor allem in Knochen und Zähnen eingebaut, während Caesium einen vergleichbaren Metabolismus hat wie Kalium und daher vor allem in das Muskelgewebe gelangt. Die in der Schweiz durchgeführten Strontium-90-Bestimmungen an Knochen und Milchzähnen ergaben auch 1992 sehr tiefe Werte. Das im Körper eingebaute Strontium-90 führt zu einer internen Strahlenexposition von etwa zwei Tausendstel mSv/Jahr. Ganzkörpermessungen werden regelmässig am Paul-Scherrer-Institut (PSI) und am Kantonsspital Genf durchgeführt. 1992 ergaben die Messungen an Mitarbeitern des PSI Caesium-137-Werte von weniger als 100 Bq pro Person, während die Messungen an 17-19-jährigen Gymnasiasten aus Genf nur rund 20 Bq pro Person zeigten. Diese Konzentration entspricht einer Dosis von weniger als ein Tausendstel mSv/Jahr, in Übereinstimmung mit den Berechnungen aufgrund der oben erwähnten Lebensmittelanalysen.

5. Strahlenexposition in der Nahumgebung der Kernanlagen

Den Kernkraftwerken Beznau, Gösgen-Däniken, Leibstadt, Mühleberg und dem Paul-Scherrer-Institut (PSI) sind in ihren Betriebsbewilligungen Abgabelimiten vorgegeben, die so festgelegt sind, dass die Dosis für Personen der Umgebungsbevölkerung nicht mehr als 0.2 mSv/Jahr beträgt. Die Betriebe sind verpflichtet, ihre Radioaktivitätsabgaben über Abluft und Abwasser an die Umwelt laufend zu überwachen und zu bilanzieren. Die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) kontrolliert diese Angaben durch eigene Messungen und berechnet die für die Umgebungsbevölkerung resultierenden maximalen Strahlendosen. Im Berichtsjahr haben die Kernanlagen ihre Grenzwerte eingehalten und die maximale Strahlenexposition der Bevölkerung in der Nahumgebung lag unter 0.015 mSv beim KKW Mühleberg bzw. unter 0.006 mSv bei den Anlagen Beznau, Gösgen-Däniken und Leibstadt. Bei den drei letzteren kommt dabei anteilmässig der grösste Dosisbeitrag von den Kohlenstoff-14-Abgaben. Für die Umgebung des Paul-Scherrer-Institutes betragen die aus den Abgaben berechneten Maximaldosen der Umgebungsbevölkerung 0.008 mSv pro Jahr. Bei einem Zwischenfall in der Isotopenproduktion im PSI-West wurde am 11./12.5.92 rund 300 GBq Xenon-123/Jod-123 in Richtung Villigen/Rüfenach freigesetzt. Die Abgabelimiten wurden jedoch nicht überschritten und die für die Umgebungsbevölkerung berechnete Maxi-

maldosis lag unter 0.001 mSv, was durch zusätzliche Messungen in der Umgebung bestätigt werden konnte.

Die **Überwachung der Umgebung der Kernanlagen** erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK), dem Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG/SUER) und weiteren Stellen. Die Messprogramme und Methoden umfassen, nebst den Ortsdosen, die Radioaktivität in Boden, Gras, Getreide, Milch und weiteren landwirtschaftlichen Produkten, sowie Fluss- und Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen und Sedimente, und werden ergänzt durch in-situ-Messungen. Die im Berichtsjahr in der Umgebung der Kernanlagen durchgeführten Messungen der Radioaktivität ergaben keine über den Richtwerten liegenden Konzentrationen oder Dosiswerte. Bei der Direktstrahlung im Nahbereich von Siedewasserreaktoren, in Sedimenten und Wasserpflanzen der Flüsse unterhalb der Werke sowie beim Kohlenstoff-14-Gehalt in Baumblättern sind - wenn meist auch nur geringe - Einflüsse der Werke nachweisbar. Deren Auswirkungen auf die Strahlenexposition der Bevölkerung sind jedoch radiologisch unbedeutend.

6. Strahlenexposition im Bereich von Industriebetrieben und Spitälern

Betriebe, die mit radioaktiven Stoffen umgehen, brauchen eine Bewilligung. Die Aufsicht erfolgt durch das Bundesamt für Gesundheitswesen bei Medizin, Forschung und Lehre, bzw. die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA) bei Industrie, Handel, Gewerbe, analytischen Labors sowie entsprechenden Betrieben und Stellen der öffentlichen Verwaltung. Die Aufsichtsbehörde kann bei Betrieben, die grössere Mengen verarbeiten, eine Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe verlangen und gegebenenfalls eine entsprechende Umgebungsüberwachung (Niederschläge, Oberflächengewässer, Quellen etc.) durchführen lassen. Das erstere trifft zu für die Firmen Radium-Chemie in Teufen/AR und MB-Microtec in Niederwangen/BE, die beide Tritium-Leuchtfarbe bzw. -Leuchtquellen herstellen, das letztere bei der Stadt La Chaux-de-Fonds, wo die Leuchtfarbe in der Uhrenindustrie verarbeitet wird.

Die **Industriebetriebe**, die zuhause der SUVA eine Abgabebilanz erstellen müssen, haben 1992 die in den Bewilligungen festgelegten Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt eingehalten. Messungen in der Umgebung von Betrieben in der Region La Chaux-de-Fonds und in Teufen/AR zeigen zwar keine Überschreitung von Richtwerten aber in den letzten Jahren beim Tritium in den Niederschlägen eine steigende Tendenz. In Teufen wurde im Februar ein Maximalwert von 7 kBq/L Niederschlag gemessen. Im Ausfluss der Kläranlage La Chaux-de-Fonds lagen die Tritium-Konzentrationen 1992 unter 9 kBq/L, und Werte über dem SSVO-Richtwert für Vorfluter von über 12 kBq/L ($C_w/300$ gemäss Art. 107), wie sie 1991 auftraten, wurden nicht mehr festgestellt. Die bisherigen Abklärungen ergaben, dass es sich bei diesen Tritium-Abflüssen nicht um unerlaubte Abgaben eines einzelnen Betriebes handelte, sondern um die Abwässer der Rauchgaswaschanlage der regionalen Kehrichtverbrennungsanlage, wo teilweise Tritium-haltige Abfälle aus der Uhrenindustrie verbrannt werden. Der Aufsichtsbehörde SUVA ist dieses Problem bekannt und sie hat schon dreimal bei der Uhrenindustrie Sammelaktionen für radioaktive Abfälle durchgeführt um diese unkontrollierten Abgaben an die Umwelt zu vermindern.

Die Abgaben aus den **Spitälern** der grösseren Städte Zürich, Basel, Bern und Lausanne - im wesentlichen handelt es sich um bei Schilddrüsenbehandlungen verwendetes Jod-131 - werden durch regelmässige Sammelproben aus den Kläranlagen überwacht. In diesen Proben und z.T. auch in den Klärschlämmen ist daher häufig Jod-131 und im Wasser teilweise auch Tri-

tium nachweisbar. Im Ausfluss der ARA Bern wurden 1992 erneut während zwei Wochen Ende Januar bzw. Anfangs Februar erhöhte Jod-131-Werte von 8 bzw. 11 Bq/L gemessen, entsprechend einem wöchentlichen Abfluss von 8 bzw. 11 GBq. Abklärungen über die Herkunft dieser Jod-Aktivität, die sehr wahrscheinlich aus Jodtherapien an Patienten des Inselspitales mit Schilddrüsenerkrankungen stammt, sowie eine Überprüfung der Abgaben dieses Spitals sind in Zusammenarbeit mit der Bewilligungsbehörde im Gang.

Da in allen genannten Fällen diese Abwässer nicht getrunken und durch Einleiten in die Aare bzw. in den Doubs stark verdünnt werden, können unzulässige Strahlendosen bei der Bevölkerung mit grosser Sicherheit ausgeschlossen werden. Im weiteren wurden in der Umgebung der überwachten Betriebe keine erhöhten Immissionen festgestellt und die aus den Radioaktivitätsabgaben resultierenden Strahlendosen bei der Bevölkerung sind deutlich unter den zulässigen Richtwerten. Bei den Anwohnern der beiden obgenannten Tritium-verarbeitenden Betriebe der Leuchtfarbenindustrie ergaben frühere Urinuntersuchungen Dosiswerte durch Tritium bis maximal 0.03 mSv/Jahr.

7. Bewertung des Überwachungsprogrammes

Die Überwachungsprogramme und die sich ergebenden Resultate genügen der eingangs erwähnten Zielsetzung: 1) Bestimmung der Strahlendosen der Bevölkerung, 2) Verfolgen langfristiger Trends sowie 3) Immissionsüberwachung bei Kernanlagen und Betrieben.

Bei der Überwachung der grossräumig verbreiteten **künstlichen Umweltradioaktivität** in Luft (radioaktive Aerosole bzw. Edelgase), Niederschlägen, Gewässern (Abflussbilanzen der grossen Flüsse) und Böden (Verfolgen des Kernwaffen- und Tschernobyl-Ausfalls) sind die Aktivitäten tief und oft nur noch mit grösserem Messaufwand und Low-Level-Verfahren nachweisbar. Zum Verfolgen langfristiger Trends bei Caesium-137, Strontium-90, Kohlenstoff-14, Tritium und den radioaktiven Edelgasen genügen jedoch wenige Probenahmestellen mit entsprechend langen Sammel- bzw. Messintervallen. Beim Tritium, das in der Schweiz in sehr grossen Mengen industriell verarbeitet wird, ist eine Bilanzierung der über Niederschläge und Oberflächengewässer abgeleiteten Mengen anzustreben. Ab 1993 wird auch dem Nachweis von Alpha-Strahlern in Umweltproben mehr Aufmerksamkeit zukommen.

Beim **Radon-Programm** stehen die Untersuchungen in Gebieten mit erhöhtem Radon-Risiko im Vordergrund. Diese werden ergänzt durch Abklärungen betreffend Herkunft und Transport von Radon im Boden sowie das Erproben von Sanierungsmassnahmen bei Häusern mit hohen Radonkonzentrationen und das Erarbeiten entsprechender Empfehlungen an das Baufachgewerbe. Natürliche Radionuklide in der Umwelt und deren Beitrag zur externen Strahlendosis im Freien wie im Hausinnern sind Gegenstand eines 1992 begonnenen BAG-Projektes.

Bei der Radioaktivitätsüberwachung der **Lebensmittel** ist dank dem Engagement der Kantonslaboratorien - 12 Labors führen selbst Erhebungen und z.T. auch Messungen auf ihrem Gebiet durch - das ganze Landesgebiet genügend abgedeckt. Dies betrifft sowohl die Grundnahrungsmittel, wo künstliche Aktivitäten ausser im Tessin meist nicht mehr nachweisbar sind, wie auch die "Spezialfälle" Wild und Pilze, wo sich ein schwacher Rückgang abzeichnet. Das Messprogramm wird 1993 noch in vergleichbarem Rahmen weitergeführt, ab 1994 wäre bei den Grundnahrungsmitteln eine Reduktion der Anzahl Proben zu überlegen. Ab 1993 werden zudem gezielt Trinkwässer auf natürliche Radionuklide untersucht.

Die Überwachungsprogramme für die **Umgebung der Kernanlagen** und die verwendeten Nachweisverfahren entsprechen dem Stand der Technik. Mit der für 1993 geplanten Inbetriebnahme der automatischen Dosisleistungs-Messnetze für die Nahumgebung der KKW (MADUK) wird diese Überwachung weiter verdichtet und automatisiert. Zusätzlich vorgesehene Ergänzungen sind ab 1993 das Einrichten je eines Regensammlers bei den KKW Mühleberg und Beznau. Die Ausbreitung der flüssigen Radioaktivitätsabgaben in Gewässern und Sedimenten unterhalb der KKW ist Gegenstand eines Projektes der EAWAG.

Bei der Überwachung der **Nahumgebung von Betrieben und Spitälern** zeichnet sich ein Bedarf ab, z.T. auch Abwässer aus Kläranlagen weiterer Städte und Regionen sowie stichprobenweise auch Klärschlämme auf Jod aus medizinischen Anwendungen zu überwachen. Die Messungen in der Nahumgebung der Tritium-verarbeitenden Betriebe sind zum mindesten im bisherigen Rahmen weiterzuführen, ergänzt durch Stichprobenmessungen von Oberflächen- und Grundwässern im Raume Niederwangen/BE und La Chaux-de-Fonds bzw. durch eine kontinuierliche Tritium-Abflussbilanz in der Aare unterhalb Bern.

8. Erfahrungsaustausch mit Fachstellen im Ausland

Die Überwachungsprogramme und -Verfahren in der Schweiz orientieren sich an den entsprechenden Programmen unserer Nachbarländer und an Empfehlungen internationaler Fachgremien. Hierzu und auch für die Bewertung der Ergebnisse und Fragen des Strahlenrisikos pflegen Schweizer Fachstellen über zwischenstaatliche Kommissionen und Fachgesellschaften einen internationalen Erfahrungsaustausch. Im Rahmen dieser grenzüberschreitenden Zusammenarbeit wurde im September 1992 in Fribourg gemeinsam mit dem Deutsch - Schweizerischen **Fachverband für Strahlenschutz** und der **Société Française de Radioprotection** eine Seminar zum Thema **UMWELTAUSWIRKUNGEN KERntechnischer Anlagen** durchgeführt. Die Veranstaltung, an der gegen 300 Fachleute aus der Schweiz, Deutschland, Frankreich und weiteren Ländern teilnahmen, hatte vier Hauptthemen: 1) *Überwachung und Bilanzierung der Radioaktivitätsabgaben*, 2) *Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Umwelt*, 3) *Überwachungsverfahren und Messprogramme* sowie 4) *Bewältigung von Stör- und Unfällen*. Die Tagung vermittelte einen umfassenden Überblick über die Umweltauswirkungen kerntechnischer Anlagen in Deutschland, Frankreich und der Schweiz sowie über Struktur und Funktion der Notfallorganisationen dieser Länder für Unfälle mit radiologischer Gefährdung. Die abschliessende Paneldiskussion unterstrich die Bedeutung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit bei der Harmonisierung der Überwachungsverfahren, bei der Bewertung der Strahlenrisiken und bei den Notfallschutzmassnahmen. Weiterer Anstrengungen bedarf es vor allem bei der Information der Öffentlichkeit über Radioaktivität und Strahlenrisiken, aber auch bei der fachlichen Weiterbildung und der Nachwuchsförderung im Strahlenschutz. Die Ergebnisse dieser Tagung sind in Englisch in einem Sonderband der Zeitschrift **RADIOPROTECTION** [6] veröffentlicht.

9. Hauptbeiträge der Strahlenexposition und Bewertung des Strahlenrisikos

Im Durchschnitt ergeben sich für die einzelnen Komponenten der Strahlendosen der Bevölkerung - praktisch unverändert gegenüber dem Vorjahr - die folgenden Zahlen:

Bei der natürlichen Strahlenexposition kommt der grösste Beitrag nach wie vor vom Radon und seinen Folgeprodukten, hauptsächlich im Hausinnern, mit Werten zwischen 0.3 und in

vereinzelten Fällen bis 150 mSv/Jahr und einem gewichteten, arithmetischen Mittelwert von 2.2 mSv/Jahr.

Die natürliche Radioaktivität im Erdboden und in Baumaterialien, d.h. Kalium-40 sowie Uran, Thorium und deren Folgeprodukte, führt im Mittel, unter Berücksichtigung der Aufenthaltszeit im Hausinnern, zu etwa 0.45 mSv/Jahr. Der Wertebereich beträgt etwa 0.2 bis 1.5 mSv/Jahr, je nach Radionuklidgehalt des Erdbodens bzw. der Baustoffe.

Der Beitrag der kosmischen Strahlung steigt mit zunehmender Höhe über Meer an und ergibt im schweizerischen Durchschnitt etwa 0.34 mSv/Jahr; dabei liegen die Werte in bewohnten Gegenden, je nach Höhe über Meer, zwischen 0.25 und 0.9 mSv/Jahr.

Im Körper eingebaute natürliche Radionuklide ergeben im Durchschnitt 0.38 mSv/Jahr, mit einem Wertebereich zwischen etwa 0.2 und 0.5 mSv/Jahr. Der Hauptbeitrag kommt vom Kalium-40, das 0.12 Promille des in der Natur vorkommenden Kalium ausmacht. Es wird über die Nahrung aufgenommen und vorwiegend im Muskelgewebe eingebaut. Im Vergleich dazu beträgt die Dosis durch künstliche, über die Nahrung aufgenommene Radioaktivität (vor allem Caesium-137 und Strontium-90) weniger als 0.01 mSv/Jahr.

Bei den aus künstlichen Quellen stammenden Strahlendosen überwiegt der Anteil aus medizinischen Anwendungen von Strahlung, z.B. in der Röntgendiagnostik, und Radionukliden, z.B. in der Nuklearmedizin. Die Mittelwerte für die Bevölkerung liegen aufgrund früherer Erhebungen bei der Röntgendiagnostik bei etwa 1 mSv/Jahr und bei der Nuklearmedizin bei 0.04 mSv/Jahr. Die Strahlendosen im einzelnen hängen von Häufigkeit und Art der Untersuchungen ab, und können bis etwa 30 mSv/Jahr durch die Röntgendiagnostik bzw. bis 80 mSv/Jahr durch die Nuklearmedizin betragen.

Die Auswirkungen des Reaktorunfalles Tschernobyl führen in der Schweiz nur noch zu geringen Strahlendosen, hauptsächlich durch das auf dem Boden abgelagerte, bzw. über die Nahrung aufgenommene Caesium-137. Die gesamte Strahlendosis der Schweizer Bevölkerung durch den Unfall in Tschernobyl beträgt im Durchschnitt etwa ein halbes mSv. Davon ist bis heute bereits der grösste Teil akkumuliert. 1992 lag die durchschnittliche externe und interne Strahlendosis durch den Tschernobyl-Unfall unter etwa 0.01 mSv/Jahr.

Die Auswirkungen der Kernwaffenversuche der 50er- und 60er-Jahre sind heute sehr gering und führten 1992 im Mittel zu Strahlendosen von deutlich unter 0.01 mSv/Jahr.

Kleinquellen, d.h. Anwendungen radioaktiver Stoffe in Gebrauchsgegenständen und Konsumgütern wie z.B. Uhren, sowie das beim Rauchen eingeatmete Polonium-210 und erhöhte Dosen bei der Zivilluftfahrt führen zu weiteren Strahlendosen, die allerdings im Einzelnen nur schwer abzuschätzen sind. Bei der Zivilluftfahrt ergeben sich beispielsweise in Höhen von 10 bzw. 12 km Dosisbeiträge durch die kosmische Strahlung von 5 bzw. 8 μ Sv/Stunde, was beim fliegenden Personal zu zusätzlichen jährlichen Strahlendosen von etwa 2 bis 3 mSv führt. Die Summe all' dieser Beiträge dürfte im Durchschnitt der Bevölkerung allerdings 0.1 mSv/Jahr kaum übersteigen.

Die aus den Abgaben der Kernanlagen berechneten Strahlendosen der Bevölkerung in der Nahumgebung betrugen 1992, auch bei Annahme ungünstiger Voraussetzungen bezüglich Aufenthalt im Freien und Lebensmittelverzehr, höchstens 0.015 mSv/Jahr.

Die Abgaben aus Industrie und Spitälern führen bei Bewohnern der Nachbarschaft dieser Betriebe zu meist nicht messbaren Dosen. Bei Betrieben, wo messbare Einflüsse in der Nahumgebung vorhanden sind, ergaben sich aufgrund von früheren Messungen Strahlendosen bei der Bevölkerung im Nahbereich bis 0.03 mSv/Jahr.

Die beruflich strahlenexponierten Personen in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentliche Dienste, Forschung und Medizin (zusammen 57'823) erhielten 1992 Dosen bis maximal 35 mSv/Jahr; bei 95.5% lagen die Werte jedoch unter 1 mSv/Jahr. Die durchschnittliche Personendosis lag bei 0.23 mSv/Jahr.

Von der gesamten durchschnittlichen Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung von rund 4.6 mSv/Jahr stammt etwa die Hälfte vom Radon und seinen Folgeprodukten ein Viertel von der übrigen natürlichen Bestrahlung und etwa ein Viertel von der Medizin und weiteren künstlichen Strahlenquellen. Der Beitrag der letzteren liegt (ohne die Medizin) unter 0.2 mSv/Jahr. Auf der Basis der neuen Risikofaktoren der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP [1] lässt sich die durchschnittliche Strahlenexposition der Bevölkerung wie folgt bewerten; wobei die nachfolgend aufgeführten Zahlenwerte nur als grobe Schätzung mit grosser Unsicherheit zu betrachten sind. Die natürliche Strahlendosis von rund 1 mSv/Jahr (ohne Radon) dürfte etwa für 2 Prozent der in der Schweiz jährlich auftretenden Krebstodesfälle verantwortlich sein. Der Anteil der Strahlendosis aus künstlichen Quellen (ohne Medizin) von 0.2 mSv/Jahr an der Krebsmortalität liegt unter 0.4 Prozent. Bei den Lungenkrebstodesfällen dürfte nach bisherigen Schätzungen [2] etwa ein Siebtel dem Radon und seinen Folgeprodukten im Wohnbereich (2.2 mSv/Jahr) zuzuordnen sein. Genetische Auswirkungen der Strahlendosen machen sich in Form von schweren Erbschäden (dominante und X-chromosomale Mutationen) bei den Nachkommen bemerkbar. Die natürliche, externe Bestrahlung mit 1 mSv/Jahr (ohne Radon), d.h. 30 mSv/Generation, dürfte für etwa ein bis sechs Prozent der pro Million Lebendgeborene vorkommenden 10'000 Fälle von schweren Erbschäden verantwortlich sein. Der Anteil der künstlichen Strahlendosis von 0.2 mSv/Jahr (ohne Medizin) ist fünf mal kleiner.

10. Literaturangaben

- [1] *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Publication Nr. 60, Annals of the ICRP Vol. 21/1-3; Pergamon Press Oxford 1991. ISBN 0-08-041144-4 or ISSN 0146-6453.
- [2] *Health Risk of Radon and other internally deposited Alpha-Emitters*. BEIR-IV. National Academy Press Washington D.C. 1988. ISBN-0-309-03789-1 oder 0-309-03797-2.
- [3] *Radon-Programm Schweiz "RAPROS": Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991*; BAG Bern März 1992; ISBN 3-905235-00-5
- [4] *Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz: Bericht für das Jahr 1991*. BAG Bern Oktober 1992. ISBN 3-905235-04-8
- [5] *Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters*. ICRP Publication Nr. 50; Pergamon Press Oxford 1987. ISBN 0-08-035579-X or ISSN 0146-6463
- [6] *Environmental Impact of Nuclear Installations*. Radioprotection, Special Issue 1993, Les Editions de Physique, Les Ulis/France 1993. ISBN 2-86883-182-6.

FIG. 1 : DURCHSCHNITTliche JÄHRLICHE EFFEKTIVE DOSIS DER SCHWEIZER BEVÖLKERUNG IN MILLI-SIEVERT (1992)

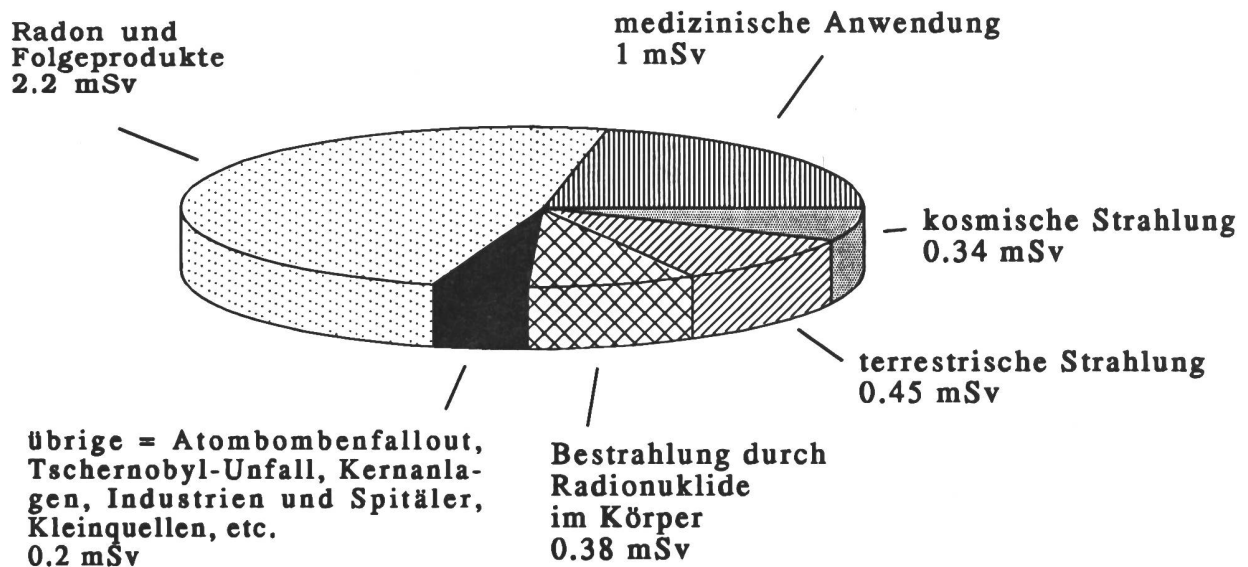
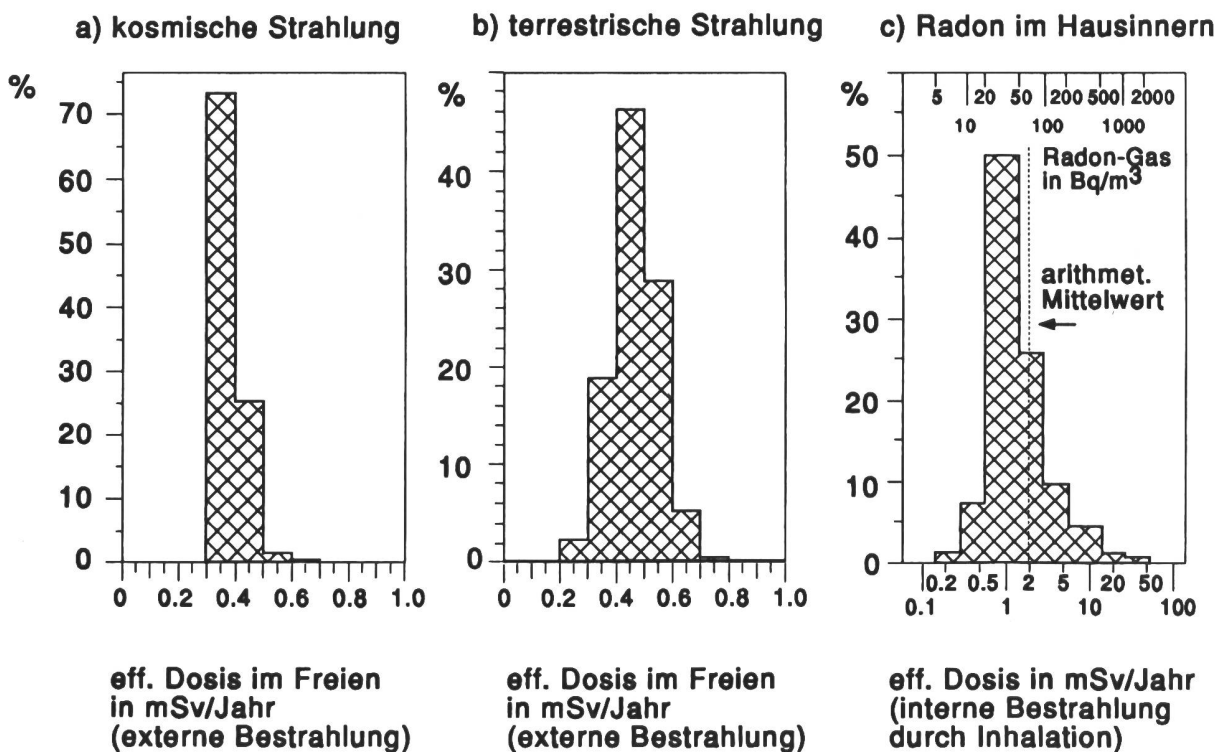


FIG. 2 : APPROXIMATIVE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER STRAHLENDOSIS IN DER SCHWEIZ

Daten gewichtet mit der Bevölkerungsverteilung, basierend auf den bis 1991 vorliegenden Messwerten; Radon-Daten korrigiert bezüglich Haustyp, Bevölkerungsverteilung u. Sommer / Winter-Unterschied.

Es sei vor allem auf den grossen Variationsbereich der Radon-Dosis (logarithmische Skala!) hingewiesen.



A. APERÇU DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT ET DES DOSES DE RAYONNEMENT

H. Völkle, Section de surveillance de la radioactivité (SUER)

Office fédéral de la santé publique, Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Résumé

Ce compte rendu rassemble les résultats de la surveillance de la radioactivité de l'environnement pour l'année 1992. Les doses de rayonnement qui en résultent pour la population y sont réunies. La surveillance porte principalement sur la radioactivité de l'air, des précipitations, des eaux, du sol, de l'herbe et des aliments. La radioactivité naturelle parmi laquelle figure l'exposition attribuable au radon dans les maisons est également prise en compte. La radioactivité rejetée par les installations nucléaires et les autres entreprises industrielles ainsi que les principales sources additionnelles de rayonnement sont aussi appréciées. Les centrales nucléaires et les industries soumises à autorisation pour la manipulation de sources radioactives ont respecté en 1992 les limites concernant les rejets dans l'environnement. Les mesures dans l'environnement n'ont signalé aucun impact respectivement aucune dose illicite. Les doses moyennes de rayonnement de la population sont restées comparables aux valeurs de l'année précédente. La dose moyenne globale est voisine de 4.6 mSv par an. La part naturelle due au radon dans les maisons prédomine avec 2.2 mSv. Les contributions de la radioactivité artificielle, sans les applications médicales, représentent comparativement moins de 0.2 mSv par an.

1. Réglementations légales; grandeurs et unités utilisées

L'impact des rejets radioactifs sur l'environnement doit obéir aux **prescriptions légales** de l'ordonnance concernant la protection contre les radiations de 1976. Ainsi les substances radioactives évacuées dans l'environnement par les installations ne doivent pas provoquer, en cas d'exposition continue, une dose annuelle par inhalation et par ingestion d'eau supérieure à 0.5 mSv chacune. En outre, les aliments prêts à la consommation, dont la somme des concentrations de césium-134 et de césium-137 dépasse les valeurs suivantes, sont à incriminer et ne peuvent pas être mis en libre circulation: 370 Bq/kg pour le lait, la crème, les laitages en conserve et les aliments infantiles, 600 Bq/kg pour les autres denrées alimentaires. Une nouvelle ordonnance sur la radioprotection (ORAP), basée sur les recommandations de la CIPR de 1991 [1] et sur la nouvelle loi de radioprotection, est en élaboration.

Les résultats des **mesures de la radioactivité** sont indiqués en Becquerel (Bq/kg, Bq/l, Bq/m²); 1 Bq équivaut à une désintégration radioactive par seconde. La conversion dans l'ancienne unité, le curie (Ci) s'opère selon: 1 nCi = 37 Bq resp. 1 pCi = 37 mBq ou 1 Bq = 27 pCi ($p = \text{pico} = 10^{-12}$). Les préfixes milli-, micro-, et nano- signifient respectivement un milliè, un millionième et un milliardième.

Les **doses de rayonnement** de la population sont exprimées comme doses effectives E en mSv (milli-sievert). La dose effective représente la somme pondérée des doses aux différents

organes. Cette grandeur sert à apprécier l'effet biologique du rayonnement sur l'organisme tout entier et ne dépend ni du type ni de l'origine de l'irradiation. On parle d'**effets somatiques** lorsque c'est la personne irradiée elle-même qui subit les effets de l'irradiation (p.ex. cancers). Par contre, on parle d'**effets héréditaires** quand c'est la descendance qui subit les effets de l'irradiation. De plus, on distingue l'**irradiation externe**, lorsqu'une personne est exposée à une source d'irradiation qui lui est extérieure et l'**irradiation interne** lorsqu'un radionucléide a été ingéré ou inhalé dans le corps. Les doses individuelles externes sont calculées à partir des doses ambiantes mesurées après multiplication par un facteur de conversion de $1 \text{ Sv} \approx 100 \text{ R}$ (resp. $10 \text{ nSv/h} \approx 1 \text{ } \mu\text{R/h}$); il convient en outre de tenir compte du séjour effectif des individus dans le champ de rayonnement considéré, si bien que les doses individuelles ne représentent en général qu'une fraction des doses ambiantes mesurées.

Parmi les doses de rayonnement, on distingue d'une part l'exposition aux **rayonnements naturels** qui provient de la radioactivité terrestre, de la radiation cosmique et de la radioactivité du corps humain; à cette exposition s'ajoute d'autre part celle aux **rayonnements artificiels**, qui incombe à la retombée des essais nucléaires et de Tchernobyl, aux rejets des installations nucléaires, des industries, des hôpitaux etc. ainsi qu'aux autres utilisations de radiation et de radioactivité dans le domaine technique et médical.

2. Objectifs du programme de surveillance et organismes concernés

La surveillance vise trois objets principaux:

1. **La radioactivité de l'environnement disséminée à grande échelle** (en particulier les radionucléides artificiels de longue vie; observation des faibles évolutions à long terme).
2. **L'impact des radionucléides artificiels** (voisinage des installations nucléaires, des industries et des hôpitaux; contrôle du respect des valeurs limites d'impact).
3. **Les doses de rayonnement de la population** issues des sources artificielles et naturelles (moyennes régionales ou nationales et domaine des valeurs correspondant; importance particulière du radon dans les habitations).

Un tel programme de surveillance ne peut prétendre en priorité à l'étude scientifique du comportement des radionucléides au sein des écosystèmes. Les résultats des mesures de surveillance ne peuvent être considérés qu'avec prudence lorsqu'il s'agit de les exploiter pour interpréter le transfert et l'évolution des radionucléides dans l'environnement, par exemple dans la détermination des facteurs de transfert.

Le programme habituel de mesure, porte sur les doses externes de rayonnement, sur la radioactivité des aérosols dans l'air, sur celle des précipitations ainsi que sur les dépôts au sol et sur l'herbe. Il s'étend au contrôle par échantillonnage de la chaîne alimentaire (lait, céréales, légumes, viandes, gibier, champignons et importation entre autres) des eaux (eaux superficielles et souterraines, végétaux aquatiques, sédiments, poissons) et des effluents liquides des installations nucléaires, des industries et des hôpitaux jusqu'à la radioactivité présente dans le corps humain (césium-137, strontium-90, potassium-40). Des programmes particuliers se consacrent aux mesures du radon dans les maisons et dans le sol, à la surveillance de l'environnement des installations nucléaires, au recensement de la radioactivité naturelle ainsi qu'au suivi

de certains radionucléides anthropiques de longue vie, répandus à grande échelle, comme le tritium, le carbone-14, l'argon-37 ou le krypton-85. Les programmes de mesure et les systèmes de surveillance répondent aux exigences techniques et scientifiques actuelles; les laboratoires entretiennent à cet effet des contacts avec des organismes compétents et des laboratoires spécialisés à l'étranger.

Un grand nombre de laboratoires et d'organismes de la Confédération, des Cantons (laboratoires cantonaux) et des écoles supérieures (EPF et Universités) participent à la réalisation du programme de surveillance. Leur contribution se traduit au niveau des prélèvements, des mesures et de la rédaction des rapports sous la coordination de l'OFSP. Avec les exploitants des stations de prélèvements, des pluviomètres, des installations de surveillance de l'air etc., ils favorisent une large surveillance de la radioactivité. Qu'ils trouvent tous ici nos remerciements pour leur engagement exemplaire. Nous remercions spécialement Madame M. Gobet pour la dactylographie et Monsieur A. Gurtner pour les représentations graphiques.

3. Exposition aux rayonnements du radon et de ses descendants dans les maisons

Le radon et ses produits de filiation, avec une dose effective moyenne de 2.2 mSv/an, est responsable pour moitié environ de la dose aux rayonnements moyenne de la population ¹⁾. Des valeurs extrêmes jusqu'à 150 mSv/an ont été observées. Le radon est un produit de désintégration du radium naturellement présent dans le sol. En tant que gaz inerte, il émane principalement du sous-sol à l'intérieur des maisons, où il peut s'accumuler. Ses produits de filiation radioactive induisent suite à leur inhalation une irradiation des poumons, qui peut éventuellement accroître le risque de cancer pulmonaire. Si l'on se réfère au modèle de calcul publié dans le rapport américain BEIR-IV [2], environ un septième des décès par cancer du poumon serait attribuable en Suisse au radon. Aucune étude épidémiologique n'a cependant permis jusqu'à présent d'établir ce fait.

Le rapport RAPROS [3] et le rapport-OFSP sur la radioactivité de l'environnement pour 1989-90 rendent compte en détail des enquêtes et des études effectuées jusqu'à maintenant en Suisse concernant le radon.

1) La dose effective annuelle (E) peut se déduire de la concentration mesurée en gaz radon à l'intérieur d'habitation comme suit:

$$E \text{ [mSv/an]} = C_{Rn} \cdot F \cdot T \cdot DF_{Rn}$$

- C_{Rn} représente la concentration en gaz radon en Bq/m³,
 F le facteur d'équilibre entre les descendants du radon et le gaz radon en première approximation égal à 0.4,
 T la durée de séjour annuel dans la maison estimée à 6570 heures soit 75% de 8760 heures,
 DF_{Rn} le facteur de dose pour l'habitat, soit 10⁻⁵ mSv/Bq·h·m⁻³ selon ICRP-50 [5].

La moyenne arithmétique de la concentration en gaz radon, pondérée selon le type de maison, la distribution de la population et l'écart été-hiver, se monte dans l'habitat suisse à 66 Bq/m³. Il en résulte une dose effective moyenne annuelle de 1.8 mSv. La valeur approche 2.2 mSv par an si l'on tient compte du radon en plein air et des descendants du thoron, responsables chacun d'environ 10% de la dose. L'exposition au radon fréquemment exprimée en WLM (Working-Level-Month) s'obtient en divisant $C_{Rn} \cdot F \cdot T$ par le facteur 6.3·10⁵ Bq·h·m⁻³/WLM.

Les sondages entrepris dans les maisons suisses dans le cadre du programme RAPROS permettent aujourd'hui un calcul précis des concentrations moyennes de radon. Ce sondage ne porte toutefois actuellement que sur 3 pour-mille des maisons. Il conviendrait de l'étendre à près d'un pour-cent d'entre elles. Les examens en cours et à venir visent prioritairement à trouver les cas de concentrations aiguës de radon. Des campagnes régionales sont donc planifiées et menées en collaboration avec les autorités cantonales dans les localités, où des valeurs accrues ont déjà été mises en évidence ou sont prévisibles sur la base de critères géologiques. La meilleure compréhension de la diffusion du radon dans les zones à risque doit tenir compte des aspects géologiques.

Les enquêtes effectuées jusqu'à présent ont concerné les cantons des Grisons, du Tessin, de Vaud et du Valais; des mesures additionnelles sont en cours dans les cantons de Genève et du Tessin; des sondages complémentaires sont planifiés dans les cantons de Glaris, de Vaud, du Valais, d'Argovie, d'Uri, de Schwyz, d'Obwald et de Nidwald.

Des travaux supplémentaires s'inscrivant dans le programme radon portent sur les techniques d'assainissement dans des maisons avec des concentrations de radon élevées. Certaines d'entre elles ont déjà pu être assainies avec succès et des recommandations techniques correspondantes ont pu être élaborées à l'intention des spécialistes du bâtiment.

4. Exposition aux rayonnements du fait des radionucléides naturels et artificiels largement répandus dans l'environnement

La radioactivité artificielle présente dans l'air et dans les **précipitations** est restée très faible en 1992 comme déjà au cours des années précédentes. Des traces de césium-137 attribuables à la resuspension des dépôts de Tchernobyl ont été décelées dans l'air; il s'agit de quelques $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ jusqu'à $12 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (Tessin). D'autres radionucléides artificiels n'ont pas été mis en évidence. Le béryllium-7 naturel, issu du rayonnement cosmique a montré des variations saisonnières comprises entre 1 et $5 \text{ mBq}/\text{m}^3$ dans l'air avec des valeurs maximales en été. Les mesures des gaz rares radioactifs dans l'air ont donné en moyenne $1 \text{ Bq}/\text{m}^3$ de krypton-85 alors que les valeurs d'argon-37 fluctuent entre 1 et $4 \text{ mBq}/\text{m}^3$. Concernant le carbone-14 présent dans l'air, la composante artificielle encore issue des essais nucléaires poursuit son recul et représente aujourd'hui près de 12% de la valeur naturelle d'origine cosmique. La contribution des radionucléides artificiels dans l'air à la dose externe de rayonnement ainsi qu'à la dose par inhalation, inférieure à un dix-millième de mSv par an, s'avère négligeable.

Dans les précipitations, l'activité artificielle s'est toujours située en dessous de la limite de détection, soit $0.04 \text{ Bq}/\text{l}$. La radioactivité déposée avec les précipitations respectivement par déposition sèche a indiqué en 1992, $14 \text{ Bq}/\text{m}^2$ au Tessin (Locarno-Monti) respectivement moins de $3 \text{ Bq}/\text{m}^2$ pour le césium-137 ainsi que $1100 \text{ Bq}/\text{m}^2$ respectivement $19 \text{ Bq}/\text{m}^2$ pour le béryllium-7. La teneur en tritium des précipitations, prélevées dans les régions non influencées par les rejets d'entreprises manipulant ce nucléide, se situe pour les échantillons mensuels entre 1 et $3 \text{ Bq}/\text{l}$.

La radioactivité présente dans les échantillons de **sol** et d'**herbe** n'a pas signalé de différence notable par rapport à l'année précédente, si ce n'est le recul prévisible de l'activité du césium-134 de Tchernobyl du fait de sa période de 2 ans. Les sols examinés en 1992 ont restitué les disparités régionales de dépôts du césium-137 de Tchernobyl selon l'image déjà obtenue en 1986, soit 10 à $40 \text{ kBq}/\text{m}^2$ au Tessin, 5 à $20 \text{ kBq}/\text{m}^2$ dans les régions les plus touchées des

Alpes, du Jura et de Suisse orientale et 0.3 à 3 kBq/m² pour le reste de la Suisse. En comparaison les estimations de l'activité résiduelle du césium-137 des essais nucléaires indiquent environ 2 à 8 kBq/m² dans les Alpes et le Jura, respectivement 1 à 4 kBq/m² pour le reste de la Suisse. L'activité césium-137 déposée décroît avec une période de 30 ans et est transférée plus ou moins rapidement selon les caractéristiques locales dans les couches plus profondes du sol. Sur les sols non remaniés le césium de Tchernobyl se répartit en 1992 jusqu'à une profondeur de 10 cm, celui des essais nucléaires jusqu'à 30 cm environ. Sur les sols labourés, la contamination se retrouve en profondeur, aux environs de 30 à 40 cm suivant le soc utilisé, et peut être homogénéisée sur toute cette profondeur. Sur les sols forestiers, l'humus semble avoir la propriété d'immobiliser le césium, ce qui explique que sa contribution à la dose externe de rayonnement s'avère actuellement près de 2 fois supérieure à celle enregistrée sur des sites hors forêt alentour. Le transport de l'activité avec l'eau de pluie semble en général insignifiant.

Pour le strontium-90, on observe en général une homogénéisation jusqu'à une profondeur voisine de 30 cm. En plus des isotopes du césium et du strontium, des traces d'antimoine-125 (Tchernobyl) sont restées détectables au Tessin ainsi que du cobalt-60 dans le voisinage immédiat de la centrale nucléaire de Mühleberg, témoignant de la fuite survenue à cette centrale en automne 1986.

Les **doses externes** de rayonnement en plein air incombent surtout à la radioactivité de la croûte terrestre et à la radiation cosmique, cette dernière augmentant avec l'altitude. Ces doses sont suivies d'une part au moyen de la spectrométrie gamma in situ, c'est-à-dire des mesures directes des composantes individuelles de la radioactivité naturelle et artificielle du sol, et d'autre part par l'intermédiaire du réseau automatique de surveillance des doses ambiantes NADAM. Les mesures in situ réalisées en 1992 ont signalé dans les sites examinés des doses ambiantes globales s'échelonnant entre 0.7 et 1.8 mSv/an. La part naturelle prédomine avec 0.7 jusqu'à 1.3 mSv/an; elle provient des radionucléides primordiaux présents dans le sol tels le potassium-40 et les isotopes des séries radioactives de l'uranium/radium et du thorium ainsi que de la composante ionisante du rayonnement cosmique. La contribution artificielle, essentiellement le césium-137 issu de la retombée de Tchernobyl et des essais nucléaires, varie en comparaison entre 0.02 et 0.6 mSv/an. La part Tchernobyl est comprise entre 0.01 mSv/an dans l'ouest de la Suisse et 0.6 mSv/an au Tessin, alors que les essais nucléaires passés représente encore approximativement 0.01 mSv/an dans l'ensemble des sites de mesure. La contamination locale attribuable à la fuite survenue à la centrale nucléaire de Mühleberg en 1986 n'excède plus en 1992 0.05 mSv/an au point critique Ufem Horn.

Le réseau automatique **NADAM**, qui équipe 58 stations météorologiques et dont les valeurs sont transmises toutes les 10 minutes à la centrale nationale d'alarme (CENAL) de Zurich, a permis de déterminer les moyennes annuelles suivantes: de 1.0 à 1.3 mSv/an pour le Jura, le Plateau suisse et les Préalpes, respectivement de 1.1 à 2.0 mSv/an pour les Alpes et le sud de la Suisse.

La décroissance du césium de Tchernobyl et son transfert graduel dans les couches plus profondes du sol expliquent le recul progressif de la dose ambiante. Il correspond à environ 3% par an durant les 5 dernières années, comme le montre à titre d'exemple, le suivi dans les stations de Lugano et d'Hinterrhein.

Dans les maisons, les murs induisent d'une part une réduction de la dose externe de rayonnement provenant de l'extérieur, à laquelle s'oppose d'un autre côté une contribution addition-

nelle inhérente aux radionucléides présents dans les matériaux de construction. En général cette dernière l'emporte sur l'atténuation par les murs. Le "Housing-Factor", qui traduit le rapport de la dose à l'intérieur par rapport à celle en plein air, est de l'ordre de 1.3. Sur la base d'un séjour en plein air de 20% (soit 80% à l'intérieur), on obtient ainsi en utilisant un facteur de conversion de la dose ambiante mesurée en dose individuelle, une valeur moyenne de 0.45 mSv/an pour l'exposition externe au rayonnement terrestre et de 0.34 mSv/an pour la part cosmique.

La surveillance du **milieu aquatique** porte sur les eaux superficielles et souterraines, les végétaux aquatiques, les sédiments ainsi que sur les eaux de rejet des stations d'épuration et les eaux d'infiltration des décharges. Dans les prélèvements réguliers de l'eau des rivières, le tritium a généralement été le seul radionucléide artificiel détectable. La teneur de césium-137 dans les poissons du lac de Lugano, le plus touché après Tchernobyl, a considérablement diminué et n'a plus dépassé 100 Bq/kg en 1992. Les sédiments sont encore marqués par le césium, principalement de Tchernobyl, mais également par les rejets liquides des centrales nucléaires en aval de ces dernières. Les eaux superficielles ont signalé parfois du tritium provenant de la fabrication et de l'utilisation des peintures luminescentes respectivement de l'iode-131 issu des hôpitaux. Pour le voisinage des installations nucléaires respectivement des entreprises et des hôpitaux, le lecteur peut se rapporter aussi aux paragraphes 5 resp. 6.

La surveillance de la **radioactivité des denrées alimentaires** s'opère en étroite collaboration avec les laboratoires cantonaux. Dans les aliments de base, lait, céréales et viande, la radioactivité artificielle (césium-134, césium-137 et strontium-90) est faible. Pour le césium, elle est le plus souvent inférieure aux limites de détection pour les denrées provenant du nord des Alpes. Des valeurs césium encore partiellement accrues du fait de Tchernobyl subsistent dans du gibier et des champignons importés ainsi que dans certains champignons indigènes - principalement des bolets bails et des pholiotas ridés. Un léger recul est perceptible par rapport à l'année précédente. En regard du faible taux de consommation de ces aliments, les doses qui en résultent restent minimes. Le calcul de l'exposition aux rayonnements en 1992, basé sur la teneur de césium dans la nourriture, donne pour des personnes s'alimentant normalement quelques millièmes de mSv. De même, la consommation régulière des eaux minérales courantes, de faible teneur en radionucléides naturels, entraîne selon les enquêtes de 1991 au maximum quelques centièmes de mSv par an [4].

Le contrôle de la **radioactivité dans le corps humain** repose sur les déterminations du strontium-90 dans les vertèbres et dans les dents de lait ainsi que sur les mesures corps entier, c'est-à-dire les estimations in vivo du césium et du potassium dans le corps. Le strontium présente un comportement physiologique semblable au calcium, d'où son assimilation préférentielle dans les os et les dents. Le métabolisme du césium est quant à lui comparable à celui du potassium, ce qui explique qu'il se fixe surtout dans le tissu musculaire. Les déterminations de strontium-90 dans les os et les dents de lait effectuées en Suisse ont indiqué des valeurs très faibles en 1992. Le strontium-90 assimilé dans le corps entraîne une exposition interne aux rayonnements d'environ deux millièmes de mSv/an. L'Institut Paul Scherrer (PSI) et l'hôpital cantonal de Genève procèdent régulièrement à des mesures corps entier. Les examens 1992, effectués sur des collaborateurs du PSI ont donné des valeurs césium-137 inférieures à 100 Bq par personne, alors que ceux opérés sur des collégiens de 17 à 19 ans à Genève n'ont montré qu'environ 20 Bq par personne. Cette concentration correspond à une dose inférieure à un millième de mSv/an, en accord avec les calculs basés sur les analyses des denrées alimentaires susmentionnées.

5. Exposition aux rayonnements dans le voisinage proche des centrales nucléaires

Dans les autorisations d'exploitation des centrales nucléaires de Beznau, Gösgen-Däniken, Leibstadt, Mühleberg et de l'Institut Paul-Scherrer (PSI), les limites concernant les rejets sont fixées de telle sorte que la dose annuelle pour des personnes de leur voisinage ne dépasse pas 0.2 mSv/an. Les exploitants sont tenus de contrôler en permanence leurs rejets radioactifs émis dans l'environnement par les effluents liquides et gazeux et d'en dresser le bilan. La Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) vérifie ces données sur la base de ses propres mesures et calcule les doses maximales de rayonnement, qui en résultent pour la population avoisinante. Dans l'année couverte par ce rapport, les installations nucléaires ont respecté les valeurs-limites prescrites dans leur autorisation d'exploitation. L'exposition maximale aux rayonnements de la population avoisinante est restée inférieure à 0.015 mSv auprès de la CN Mühleberg respectivement inférieure à 0.006 mSv pour les centres de production électronucléaire de Beznau, Gösgen-Däniken et Leibstadt. Pour les trois dernières centrales mentionnées, les rejets carbone-14 représentent en proportion la contribution majeure à la dose. Concernant l'environnement de l'Institut Paul-Scherrer, les doses maximales calculées à partir des rejets pour la population avoisinante correspondent à 0.008 mSv par an. Lors d'un incident dans la production d'isotopes au PSI-Ouest, 300 GBq xenon-123/iode-123 ont été émis le 11/12.5.92 en direction de Villigen/Rüfenach. Les limites de rejet n'ont toutefois pas été dépassées et la dose maximale calculée pour la population critique est restée inférieure à 0.001 mSv, comme l'ont confirmé des mesures additionnelles effectuées dans l'environnement.

La **surveillance de l'environnement des installations nucléaires** s'opère en étroite collaboration entre la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN), l'Office fédéral de la santé publique (OFSP/SUER) et d'autres organismes. Les programmes et les méthodes de mesure impliqués portent non seulement sur les doses ambiantes, mais aussi sur la radioactivité dans le sol, l'herbe, les céréales, le lait et autres produits agricoles ainsi que sur les eaux de rivières et la nappe phréatique, les poissons, les végétaux aquatiques et les sédiments. Ce programme est complété par les mesures in situ. L'ensemble des mesures effectuées dans la surveillance annuelle de la radioactivité au voisinage des installations nucléaires n'a pas signalé des concentrations ni des doses supérieures aux valeurs directrices. Certaines influences des sites nucléaires, même si elles restent le plus souvent minimales, ont pu être décelées. Il s'agit du rayonnement direct dans le voisinage immédiat des réacteurs à eau bouillante, des traces des rejets liquides dans les sédiments et les végétaux aquatiques des rivières en aval des sites, ainsi que du carbone-14 dans les feuillages. Leurs répercussions sur l'exposition aux rayonnements de la population sont toutefois insignifiantes du point de vue radiologique.

6. Exposition aux rayonnements dans le secteur industriel et hospitalier

Les **entreprises** manipulant des substances radioactives sont soumises à autorisation. Leur contrôle relève de l'Office fédéral de la santé publique pour la médecine, la recherche et la formation, respectivement de la Caisse nationale des assurances (CNA) pour l'industrie, le commerce, les métiers, les laboratoires analytiques ainsi que les entreprises et les organismes correspondants de l'administration publique. L'instance de contrôle peut exiger de la part des entreprises, où d'importantes quantités de substances radioactives sont traitées, un bilan des rejets; cela est le cas pour les entreprises Radium-Chemie à Teufen/AR et MB-Microtec à Niederwangen/BE, qui fabriquent des peintures et des sources lumineuses à base de tritium. Au besoin, une surveillance conforme de l'environnement (précipitations, eaux superfi-

cielles, sources etc.) peut être engagée; ceci touche la ville de La Chaux-de-Fonds, où les peintures luminescentes sont utilisées dans l'industrie horlogère.

Les **entreprises industrielles**, qui sont astreintes à établir un bilan des rejets à l'intention de la CNA, ont respecté en 1992 les limites stipulées dans les autorisations, concernant les rejets de substances radioactives dans l'environnement. Les mesures au voisinage des entreprises de la région de La Chaux-de-Fonds et de Teufen/AR n'ont signalé aucun dépassement des valeurs directrices, mais montrent une tendance à l'augmentation des teneurs en tritium dans les précipitations au cours des dernières années. Dans l'écoulement de la station d'épuration de La Chaux-de-Fonds, les concentrations de tritium sont restées inférieures à 9 kBq/l en 1992. Des valeurs supérieures à la valeur directrice de l'OPR pour l'effluent de plus de 12 kBq/l ($C_w/300$ selon art. 107) n'ont plus été constatées, contrairement à ce qui fut le cas en 1991. Les investigations actuelles permettent de conclure que les écoulements de tritium ne provenaient pas de rejets non autorisés de quelque entreprise, mais des eaux usées de l'installation de lavage des gaz de fumée de la station régionale d'incinération des ordures, où sont calcinés en partie des déchets contenant du tritium issu de l'industrie horlogère.

L'autorité de contrôle CNA est consciente de ce problème et a déjà engagé en trois circonstances des actions de récupération de déchets radioactifs auprès de l'industrie horlogère, afin de réduire ces rejets sauvages dans l'environnement.

Les rejets des **hôpitaux** des grandes agglomérations de Zürich, Bâle, Berne et Lausanne sont contrôlés par des prélèvements réguliers d'échantillons cumulatifs des stations d'épuration. Cette surveillance porte essentiellement sur l'iode-131, utilisé pour les traitements de la glande thyroïde dont des traces se retrouvent dans les échantillons cumulatifs et parfois les boues d'épuration de certaines STEP. A l'écoulement de la STEP de Berne, des valeurs accrues d'iode-131 ont de nouveau été mesurées durant deux semaines, soit 8 Bq/l fin janvier et 11 Bq/l début février. Ces concentrations correspondent à un déversement hebdomadaire de 8 respectivement 11 GBq. Pour mieux comprendre l'origine de cette activité d'iode, qui semble provenir a priori de son utilisation thérapeutique sur des patients de l'hôpital de l'Isle atteints d'affections thyroïdiennes, des études sont en cours ainsi qu'une vérification des rejets de cet hôpital en collaboration avec l'autorité qui délivre l'autorisation.

Dans tous les cas mentionnés, les eaux déversées ne sont pas destinées à la consommation et subissent de surcroît une forte dilution lors de leur écoulement dans l'Aar, respectivement dans le Doubs. On peut de ce fait exclure avec certitude des doses de rayonnement inadmissibles pour la population. Par ailleurs, aucune augmentation de l'impact des entreprises surveillées n'est à signaler dans l'environnement et les doses de rayonnement résultant des rejets radioactifs pour la population se sont maintenues bien en dessous des valeurs directrices admissibles. Des analyses antérieures de l'urine ont montré que les doses attribuables au tritium atteignent au maximum 0.03 mSv/an chez les riverains des fabriques utilisant du tritium, mentionnées plus haut.

7. Appréciation du programme de surveillance

Les programmes de surveillance et les résultats qui en découlent répondent aux objectifs visés: 1) Estimation des doses de rayonnement à la population. 2) Observation des tendances à long terme et 3) surveillance de l'impact des installations nucléaires et des entreprises.

Concernant la surveillance de la **radioactivité artificielle de l'environnement**, répandue à grande échelle dans l'air (aérosols radioactifs resp. gaz rares) dans les précipitations, dans les eaux (bilan de l'écoulement des rivières principales) et dans le sol (suivi de la retombée des essais nucléaires et de Tchernobyl), les activités présentent un niveau faible et ne se laissent souvent plus déceler qu'en impliquant un investissement de mesure considérable et des méthodes low-level.

Quelques sites de prélèvement avec des intervalles de collecte et de mesure appropriés suffisent à l'observation du comportement à long terme du césium-137, du strontium-90, du carbone-14, du tritium et des gaz rares radioactifs. Pour le tritium, utilisé industriellement en très grande quantité dans notre pays, il faut rechercher à établir un bilan des valeurs au niveau des précipitations et des eaux superficielles. Dès 1993, la détection des émetteurs alpha dans les échantillons de l'environnement fera également l'objet d'une plus grande attention.

Concernant le **programme-radon**, la priorité reste consacrée aux enquêtes dans les régions où le risque radon est élevé. Il s'agit parallèlement d'améliorer les connaissances relatives à la provenance et au transport du radon dans le sol et d'expérimenter des techniques d'assainissement pour les maisons présentant d'importantes concentrations de radon. Ce programme devrait aboutir à l'élaboration de recommandations adéquates destinées à l'industrie du bâtiment. Les radionucléides naturels dans l'environnement et leur contribution à l'exposition externe en plein air ainsi qu'à l'intérieur des maisons font partie d'un projet de l'OFSP commencé en 1992.

La surveillance de la radioactivité des **denrées alimentaires** permet une couverture suffisante de l'ensemble du territoire suisse, grâce à l'engagement des laboratoires cantonaux. 12 d'entre eux s'occupent au niveau de leur région des prélèvements et en partie également des mesures correspondantes. Cela touche aussi bien l'alimentation de base, dans laquelle les activités artificielles ne sont pratiquement plus détectables hormis au Tessin, que les aliments spéciaux tels le gibier et les champignons, où l'on observe un léger recul de la contamination. Le programme de mesure se poursuivra de manière analogue en 1993. Dès 1994, une réduction du nombre des échantillons pourrait être envisagée au niveau des denrées fondamentales. A partir de 1993, il est prévu de procéder à des analyses ciblées des radionucléides naturels dans l'eau potable.

Le programme de surveillance au **voisinage des installations nucléaires** et les méthodes de détection utilisées sont conformes au niveau actuel de la technique. L'entrée en fonction, prévue pour 1993, du réseau automatique de mesure du débit de dose (MADUK) pour le voisinage proche des centrales nucléaires va y augmenter la densité de la surveillance et en améliorer l'automatisation. Dans le courant 1993, des pluviomètres à grande surface, analogues à ceux déjà exploités auprès des centrales de Leibstadt et de Gösgen-Däniken, seront installés près des sites de Mühleberg et de Beznau afin d'y compléter la surveillance. Il convient enfin de mentionner un projet de l'EAWAG, destiné à l'étude du comportement des rejets liquides de radioactivité dans les eaux et les sédiments en aval des sites nucléaires.

En ce qui concerne la surveillance à **proximité des entreprises et des hôpitaux**, il apparaît nécessaire de contrôler les écoulements de station d'épuration auprès d'autres agglomérations et régions, et de surveiller l'iode provenant de l'utilisation médicale en analysant par échantillonnage les boues d'épuration. Les mesures dans l'environnement proche des fabriques utilisant du tritium doivent être poursuivies au moins dans leur proportion actuelle. Il est envisagé de les compléter par des mesures par échantillonnage des eaux superficielles et souterraines

dans la région de Niederwangen/BE et de La Chaux-de-Fonds, respectivement par un bilan continu de l'écoulement tritium dans l'Aar en aval de Berne.

8. Echange d'expériences avec les organismes spécialisés à l'étranger

Les programmes et les méthodes de mesure en vigueur en Suisse correspondent à ceux de nos pays voisins et sont conformes aux recommandations internationales des commissions d'experts. A cet effet et aussi dans l'appréciation des résultats et des questions liées au risque provenant des rayonnements, les organismes spécialisés suisses entretiennent un échange d'expériences au niveau international par l'intermédiaire des commissions inter-Etats et des sociétés professionnelles. Dans le cadre de cette collaboration, un séminaire portant sur **l'impact des installations nucléaires sur l'environnement** s'est tenu à Fribourg en septembre 1992, sous le patronage de la Société germano-suisse **Fachverband für Strahlenschutz** et la **Société française de Radioprotection**. La manifestation a réuni près de 300 spécialistes de Suisse, d'Allemagne, de France et de certains autres pays sur les thèmes principaux suivants: 1) La surveillance et le bilan des rejets radioactifs des installations nucléaires dans l'environnement, 2) La dispersion des substances radioactives dans l'environnement et l'exposition qui en résulte: modélisations, simulations et programmes de calcul, 3) Les systèmes de surveillance et les programmes de mesure de la radioactivité de l'environnement, 4) Les mesures préventives et la maîtrise des conséquences d'incidents et d'accidents de centrales nucléaires. Le congrès a donné un large aperçu des répercussions des sites nucléaires sur l'environnement en Allemagne, en France et en Suisse ainsi que de la structure et de la fonction des organisations d'intervention dans ces pays en cas d'accidents liés à un danger radiologique. La table ronde finale a souligné l'importance de la collaboration inter-frontière au niveau de l'harmonisation des méthodes de surveillance, de l'appréciation des risques radiologiques et des mesures d'urgence de protection.

Parmi les efforts à consentir, figurent en premier lieu l'information destinée au public sur la radioactivité et les risques liés aux rayonnements, mais également le recyclage professionnel et l'exigence d'assurer la relève dans le domaine de la radioprotection. Les résultats de ce séminaire font l'objet d'une publication en anglais dans un numéro spécial de la revue **RADIOPROTECTION** [6].

9. Contributions principales à l'exposition aux rayonnements et appréciation du risque qu'ils induisent

Les composantes individuelles des doses de rayonnement à la population sont restées en moyenne comparables à celles de l'année précédente. On peut résumer les faits marquants comme suit:

Au niveau de l'exposition naturelle aux rayonnements, le radon et ses descendants, surtout dans l'air des habitations, est responsable de la part la plus importante de l'irradiation. Cette contribution correspond en Suisse à une valeur moyenne arithmétique pondérée de 2.2 mSv/an et présente des variations comprises entre 0.3 mSv/an et pour certains cas isolés jusqu'à 150 mSv/an.

La radioactivité naturelle encore présente essentiellement dans la croûte terrestre superficielle et dans les matériaux de construction provient des éléments à vie longue comme le potassium-40 ainsi que l'uranium-238, le thorium-232 et leurs descendants. Si l'on tient compte de la durée de séjour dans les maisons, ces radionucléides induisent en Suisse, en moyenne près de 0.45 mSv/an. Le domaine des valeurs s'échelonne entre 0.2 et 1.5 mSv/an, selon la teneur en radionucléides du sol respectivement des matériaux de construction.

La contribution du rayonnement cosmique augmente avec l'altitude; elle représente en moyenne dans notre pays approximativement 0.34 mSv/an; les valeurs dans nos régions habitées varient selon l'altitude entre 0.25 et 0.9 mSv/an.

Les radionucléides naturels assimilés par le corps occasionnent en moyenne 0.38 mSv/an et leurs doses sont comprises dans une fourchette voisine de 0.2 à 0.5 mSv/an. Le potassium-40, présent en proportion de 0.12 pour mille dans le potassium naturel, constitue la contribution majeure. Il est ingéré à partir de la nourriture et est surtout incorporé dans les tissus musculaires. En comparaison, la dose attribuable à l'ingestion de radioactivité artificielle (essentiellement césium-137 et strontium-90) correspond à moins de 0.01 mSv/an.

Au niveau des doses de rayonnement issues des sources artificielles, la part prépondérante provient de l'utilisation médicale de l'irradiation, par exemple dans le diagnostic aux rayons X, et aussi de l'emploi des radionucléides, par exemple en médecine nucléaire. Les enquêtes passées permettent d'attribuer au radiodiagnostic en moyenne environ 1 mSv/an pour la population. La valeur correspondante induite par la médecine nucléaire se situe à près de 0.04 mSv/an. Ces doses de rayonnement dépendent de la fréquence et du type d'examen et peuvent atteindre jusqu'à 30 mSv/an pour le radiodiagnostic, respectivement jusqu'à 80 mSv/an pour la médecine nucléaire.

Les répercussions de l'accident au réacteur de Tchernobyl n'entraînent actuellement en Suisse que des doses minimales. Elles incombent principalement au césium-137 déposé au sol, respectivement à son ingestion à travers la nourriture. La majeure partie de la dose globale de rayonnement incombant à cet accident, soit en moyenne pour la population suisse environ un demi mSv, a déjà été accumulée jusqu'à maintenant. La part moyenne externe et interne en 1992 peut être estimée à moins de 0.01 mSv/an.

Les atteintes subsistantes du fait des essais nucléaires dans les années 50 et 60 sont également très faibles et ont entraîné en 1992 des doses de rayonnement en moyenne bien inférieures à 0.01 mSv/an.

La présence de substances radioactives dans les objets utilitaires ou les biens de consommation comme par exemple les montres, ainsi que le polonium-210 inhalé en fumant et les doses accrues lors des vols de ligne sont responsables de doses additionnelles, dont l'estimation individuelle reste très complexe. Durant un vol de ligne aux altitudes de 10 respectivement 12 km, les débits de dose inhérents à la radiation cosmique équivalent à 5 resp. 8 μ Sv/heure. Il en résulte des doses de rayonnement annuelles additionnelles pour le personnel naviguant voisines de 2 à 3 mSv. On peut estimer que la somme de l'ensemble de ces faibles contributions ne devrait guère dépasser en moyenne pour la population 0.1 mSv/an.

Les doses de rayonnement, calculées à partir des rejets des installations nucléaires pour la population avoisinante, ont représenté en 1992 au maximum 0.015 mSv/an même en se basant

sur des hypothèses pessimistes du point de vue du séjour en plein air et de la consommation alimentaire.

Les rejets incombant à l'industrie et aux hôpitaux engendrent pour leurs riverains des doses en général à peine mesurables. Pour certaines entreprises, à proximité desquelles des influences ont été décelées, des mesures antérieures ont donné des doses de rayonnement jusqu'à 0.03 mSv/an pour la population alentour.

Les personnes professionnellement exposées aux rayonnements dans les centrales nucléaires, l'industrie, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine, soit 57823 personnes au total, ont reçu en 1992 des doses d'au plus 35 mSv/an; pour 95.5% d'entre eux, les valeurs ont été inférieures à 1 mSv/an. La dose moyenne individuelle s'est située autour de 0.23 mSv/an.

Sur l'exposition moyenne globale aux rayonnements d'environ 4.6 mSv/an, à laquelle est soumise la population suisse, près de la moitié provient de l'exposition naturelle au radon et à ses descendants et près d'un quart de la médecine et des autres sources artificielles de rayonnement. Sans la médecine, la contribution artificielle est inférieure à 0.2 mSv/an. Sur la base des nouveaux facteurs de risque de la Commission internationale de protection radiologique CIPR [1], l'exposition moyenne de la population aux rayonnements peut être appréciée de manière suivante: la dose naturelle de rayonnement voisine de 1 mSv/an (sans le radon) pourrait être responsable d'environ 2 pour-cent des cas de cancer mortel recensés annuellement en Suisse. Le pourcentage correspondant, attribuable à la dose de rayonnement de 0.2 mSv/an issue des sources artificielles (sans la médecine), serait inférieur à 0.4 pour-cent. Pour les cas mortels de cancer du poumon, les estimations actuelles [2] en prêteraient environ un septième au radon et à ses descendants dans l'habitat (2.2 mSv/an). Les atteintes génétiques des doses de rayonnement se traduisent par de graves dommages héréditaires (mutations dominantes et chromosomales-X) chez la descendance. L'irradiation naturelle externe (sans le radon) de 1 mSv/an, soit 30 mSv/génération serait à l'origine de un jusqu'à six pour-cent des 10'000 cas de tares héréditaires graves enregistrées par million de naissance aboutie. La part se rapportant à la dose artificielle de rayonnement de 0.2 mSv/an (sans la médecine) correspondrait à cinq fois moins. Il convient de considérer ces valeurs de risque avec prudence en regard de leur caractère approximatif et des incertitudes appréciables auxquelles elles sont liées.

Traduction française: Dr. Ch. Murith, SUER

10. Littérature

- [1] *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Publication Nr. 60, Annals of the ICRP Vol. 21/1-3; Pergamon Press Oxford 1991. ISBN 0-08-041144-4 or ISSN 0146-6453.
- [2] *Health Risk of Radon and other internally deposited Alpha-Emitters*. BEIR-IV. National Academy Press Washington D.C. 1988. ISBN-0-309-03789-1 oder 0-309-03797-2.
- [3] *Radon-Programm Schweiz "RAPROS": Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991*; BAG Bern März 1992; ISBN 3-905235-00-5
- [4] *Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz: Bericht für das Jahr 1991*. BAG Bern Oktober 1992. ISBN 3-905235-04-8
- [5] *Lung Cancer Risk form Indoor Exposures to Radon Daughters*. ICRP Publication Nr. 50; Pergamon Press Oxford 1987. ISBN 0-08-035579-X or ISSN 0146-6463
- [6] *Environmental Impact of Nuclear Installations*. Radioprotection Special Issue 1993, Les Editions de Physique, Les Ulis/France 1993. ISBN 2-86883-182-6.

FIG. 1 : DOSE EFFECTIVE ANNUELLE MOYENNE DE LA POPULATION SUISSE EN MILLI-SIEVERT (1992)

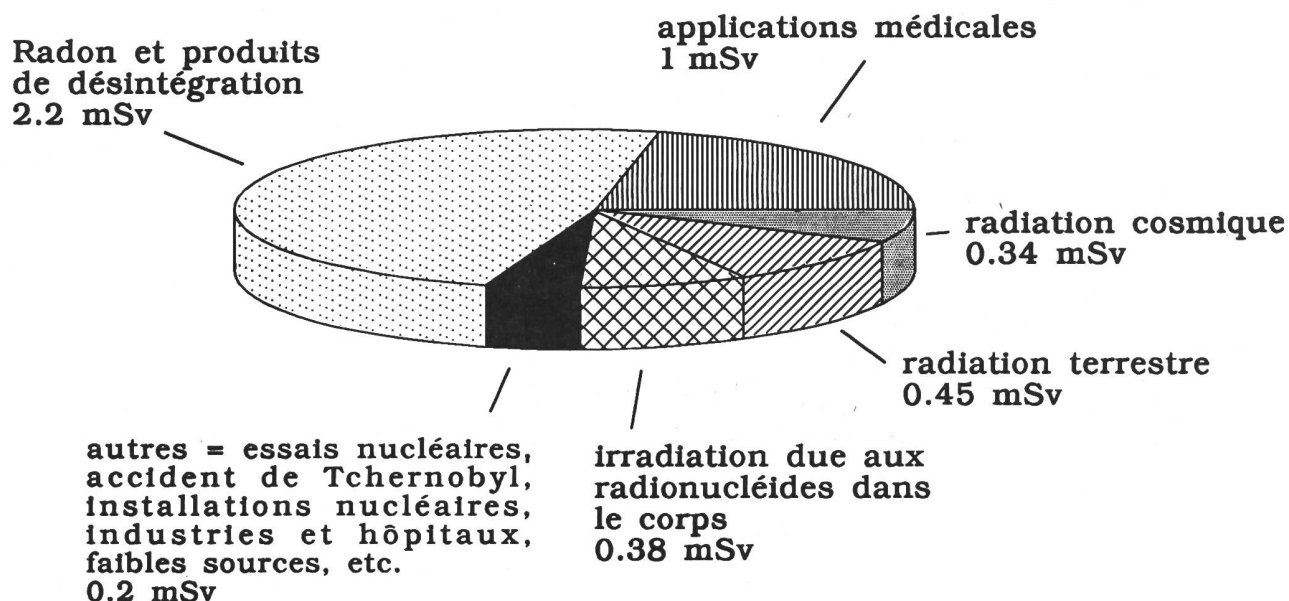
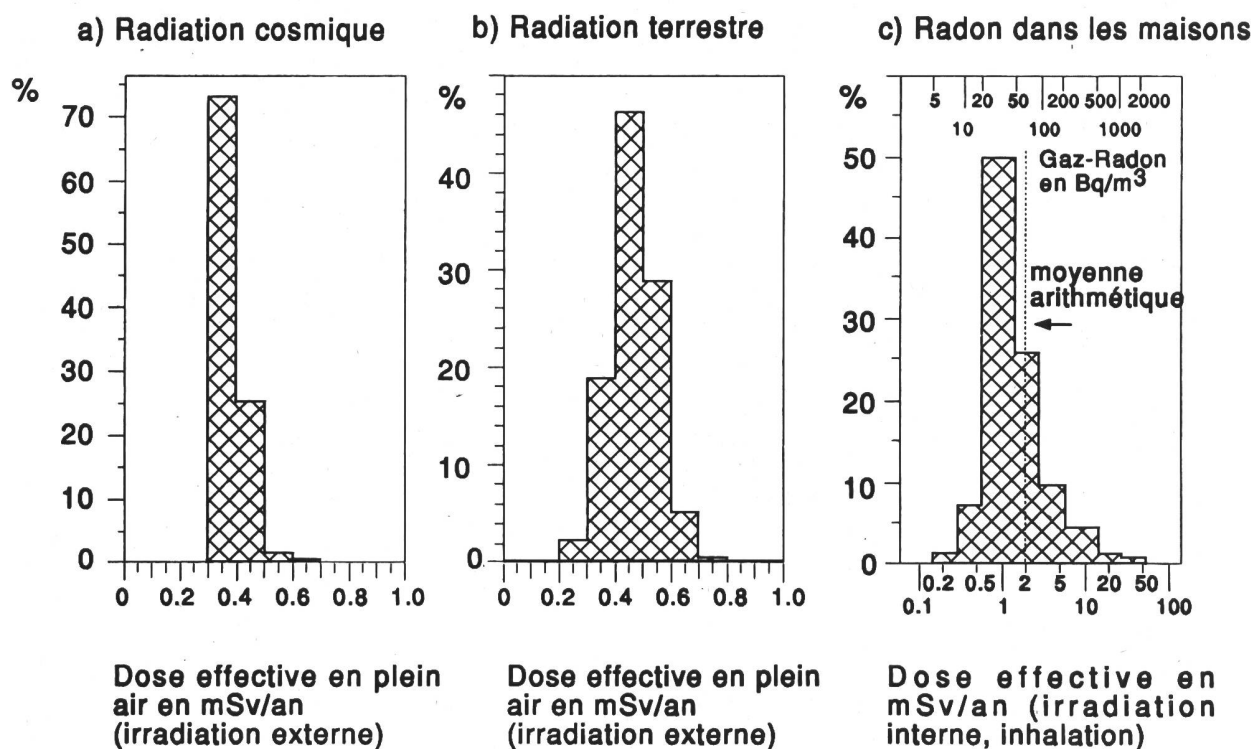


FIG. 2 : APPROXIMATION DE LA DISTRIBUTION DES DOSES D'IRRADIATION EN SUISSE

Pondération des données avec la répartition de population : sur la base des mesures disponibles jusqu'en 1991, les valeurs radon sont corrigées relativement au type de construction, à la distribution de la population et à la différence été/hiver.

On notera surtout le large domaine de variation de la dose radon (échelle logarithmique.)



A. RADIOATTIVITÀ DELL'AMBIENTE E DOSI D'IRRA- DIAZIONE: RIASSUNTO

H. Völkle Sezione controllo della radioattività

Ufficio federale della sanità pubblica, Ch. du Musée 3, 1700 Fribourg

Sommario

Il presente rapporto riassume ed interpreta gli esiti della sorveglianza della radioattività nel 1992 e le dosi d'irradiazione della popolazione che se ne deducono. Oggetto della sorveglianza sono la radioattività presente nell'aria, nelle precipitazioni, nelle acque, nel suolo, nell'erba, nelle derrate alimentari, ecc., come anche la radioattività naturale, l'esposizione alla radiazione del radon all'interno delle case, gli effetti di emanazioni radioattive da impianti nucleari e altre aziende e le rimanenti fonti radioattive. Le centrali e gli impianti nucleari autorizzati a servirsi di sostanze radioattive hanno osservato nel 1992 i limiti posti all'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente; dalle misure ambientali non sono risultate immissioni o dosi superiori a quelle ammesse. Le dosi medie d'irradiazione della popolazione sono risultate analoghe a quelle dell'anno precedente; il contributo più cospicuo alla dose totale annua di circa 4.6 mSv è quello del radon naturale all'interno delle case, pari a 2.2 mSv. I contributi derivanti dalla radioattività artificiale - senza le applicazioni mediche - ammontano invece a meno di 0.2 mSv all'anno.

1. Regolamentazione legale e unità di misura

Conformemente alle **disposizioni legali** fissate nell'Ordinanza sulla radioprotezione del 1976, le immissioni dovute all'evacuazione nell'ambiente di radioattività proveniente da aziende non devono provocare, in caso di esposizione permanente attraverso l'aria respirata e l'acqua potabile, dosi annue superiori a 0.5 mSv ognuna. Non sono inoltre ammesse alla circolazione le derrate alimentari che presentano, allo stato pronto per il consumo, concentrazioni totali di cesio-134 e cesio-137 superiori a 370 Bq/kg per il latte, la panna, le conserve di latte e gli alimenti per bambini e a 600 Bq/kg per gli altri prodotti. Una nuova ordinanza sulla radioprotezione, fondata sulle più recenti raccomandazioni dell'ICRP del 1991 [1] e sulla nuova legge sulla radioprotezione è in fase di preparazione.

Gli esiti delle **misure della radioattività** sono indicati in becquerel (Bq/kg, Bq/l, Bq/m²). 1 Bq corrisponde a una disintegrazione radioattiva al secondo. Per la conversione da Curie (Ci), unità in uso in passato, a Becquerel, si calcola: 1 nCi = 37 Bq, ossia 1 pCi = 37 mBq e 1 Bq = 27 pCi (p = pico = 10⁻¹²). I prefissi milli-, micro- e nano- significano un millesimo, un milionesimo e un miliardesimo dell'unità.

Le **dosi d'irradiazione** della popolazione indicate sono dosi effettive (E) in mSv, definiti come la somma ponderata delle dosi dei singoli organi. Questa misura permette di valutare l'effetto biologico della radiazione sull'intero organismo umano indipendentemente dal tipo e dalla provenienza di quest'ultima. Per quanto concerne l'effetto delle radiazioni, si distingue tra le ripercussioni dette **somatiche** (ad esempio il cancro), che colpiscono il soggetto irra-

diato stesso, e le **tare ereditarie**, che diventano evidenti soltanto sui suoi discendenti. Si distinguono inoltre un'irradiazione esterna, la cui fonte si trova al di fuori dell'organismo, e un'irradiazione **interna**, provocata dalla radioattività giunta nel corpo con il cibo, l'acqua potabile o l'aria respirata. La dose individuale d'irradiazione **esterna** si ottiene applicando alla dose ambiente misurata per il fattore di conversione approssimativo $1 \text{ Sv} \approx 100 \text{ R}$ (rispettivamente $10 \text{ nSv/ora} \approx 1 \text{ } \mu\text{R/ora}$); bisogna inoltre tener conto del tempo di permanenza della persona in questione nel campo d'irradiazione. Le dosi individuali non corrispondono perciò in genere che a una piccola parte delle dosi ambiente misurate.

Secondo la provenienza delle dosi d'irradiazione si parla di **esposizione all'irradiazione naturale**, dovuta alla radioattività terrestre, a quella cosmica e a quella presente nell'organismo umano, o **artificiale**, proveniente dalle ricadute di armi nucleari e di Cernobil, dalle emanazioni degli impianti nucleari, dell'industria, degli ospedali, ecc., nonché dalle altre applicazioni mediche e tecniche di radiazioni e radioattività.

2. Obiettivi del programma di sorveglianza e partecipanti

Tre sono gli oggetti principali della sorveglianza:

1. la **radioattività ambientale diffusa in aree geograficamente estese** (segnatamente i radionuclidi artificiali di lunga durata; accertamento di tendenze poco pronunciate che si manifestano a lunga scadenza);
2. le **immissioni di radionuclidi artificiali** (nelle vicinanze di impianti e aziende nucleari e degli ospedali; controllo dell'osservanza dei valori limite);
3. le **dosi d'irradiazione della popolazione** da fonti artificiali e naturali (valori medi e margini di variazione regionali e nazionali, con particolare riguardo al radon negli edifici abitati).

Un programma di sorveglianza di questo tipo non può mirare in primo luogo ad ottenere nuove conoscenze scientifiche sul comportamento di radionuclidi nel sistema ecologico. Le misure svolte consentono soltanto in misura limitata di trarre conclusioni sul trasporto e il comportamento di radionuclidi nell'ambiente, ad esempio stabilendo fattori di trasferimento.

Il programma usuale di misura include le dosi esterne, la radioattività degli aerosoli nell'aria, le precipitazioni, i sedimenti depositatisi sul suolo e sull'erba, le derrate alimentari (latte e cereali, come anche campioni di legumi, carne, selvaggina, funghi, merce importata e altri), la radioattività nel corpo umano (cesio-137, stronzio-90, potassio-40) le acque (acque di superficie e falda freatica, piante acquatiche, pesci, sedimenti), nonché le acque di scolo di impianti ed aziende nucleari e di ospedali. Programmi speciali concernono la misura del radon nelle abitazioni e nel suolo, la sorveglianza delle immediate vicinanze di impianti nucleari, l'accertamento della radioattività naturale, nonché alcuni radionuclidi artificiali di lunga durata, ampiamente diffusi sul piano geografico, come il tritio, il carbonio-14, l'argon-37 e il cripton-85. I programmi di misura e i metodi di sorveglianza sono aggiornati allo stato attuale della scienza e della tecnica; a tale scopo, i laboratori si mantengono in contatto con centri specializzati e laboratori all'estero.

Coordinati dall'UFSP, partecipano all'attuazione di questo programma - in particolare al prelievo di campioni, alle misure e ai rapporti - numerosi uffici e laboratori federali, cantonali, politecnici ed universitari. Ringraziamo cordialmente tutti questi istituti e i numerosi custodi delle stazioni di prelievo, dei punti di raccolta dell'acqua piovana, dei dispositivi di sorveglianza dell'aria, ecc. per la loro preziosa collaborazione. Senza la loro partecipazione e la loro competenza in materia, una sorveglianza globale risulterebbe praticamente impossibile. Ringraziamo cordialmente anche la Signora M. Gobet per la stesura del testo et il signor A. Gurtner per le rappresentazioni grafiche.

3. Esposizione alla radiazione del radon e dei prodotti del suo decadimento all'interno delle abitazioni

Il radon e i prodotti del suo decadimento causano un equivalente di dose effettivo medio di 2.2 mSv all'anno, pari a circa la metà dell'esposizione media ad irradiazione della popolazione svizzera. Si sono riscontrati valori massimi di 150 mSv/anno ¹⁾. Il radon è un prodotto di decadimento del radio naturale, un gas nobile presente nel suolo che penetra negli edifici soprattutto attraverso il terreno di fondazione e può quindi accumularsi all'interno dei locali. Se penetrano nell'organismo attraverso la respirazione, i prodotti radioattivi del suo decadimento irradiano i polmoni ed è possibile che aumentino il rischio di cancro. Secondo il modello di calcolo pubblicato negli Stati Uniti con il BEIR-IV-Report [2], circa un settimo dei casi di decesso per cancro ai polmoni in Svizzera sarebbe dovuto al radon. Sinora non è stato tuttavia possibile confermare quest'ipotesi con studi epidemiologici.

Esaurienti informazioni sui rilevamenti e sugli studi svolti sinora per quanto riguarda il radon in Svizzera si trovano nel rapporto RAPROS [3] e nel rapporto dell'UFSP sulla radioattività ambientale negli anni 1989-1990 [4].

Grazie ai rilevamenti svolti in edifici abitati della Svizzera nel quadro del programma RAPROS, possiamo oggi calcolare con una certa sicurezza la concentrazione media del radon. Solo il 3 per mille degli edifici abitati è tuttavia stato finora sottoposto a tali misure, mentre sarebbe auspicabile una quota dell'1 per cento circa. Le ricerche in atto al momento e quelle previste per i prossimi anni mirano in primo luogo a reperire gli edifici dove la concentrazione di radon è particolarmente alta. Con la cooperazione delle autorità cantonali, si pro-

1) Dalla concentrazione di gas radon misurata all'interno di un edificio si può dedurre l'effettivo di dose medio annuo (E) applicando la seguente formula:

$$E \text{ [mSv/anno]} = C_{Rn} \cdot F \cdot T \cdot DF_{Rn}$$

dove C_{Rn} è la concentrazione di gas radon misurata in Bq/m³. Il fattore d'equilibrio F tra il gas radon e i prodotti del suo decadimento si stima a 0.4, la durata di permanenza T all'interno dell'edificio a 6570 ore (75% di 8760 ore). DF_{Rn} è il fattore di dose per i locali abitati secondo ICRP-50 [5], pari a 10⁻⁵ mSv/Bq·h·m⁻³. Una concentrazione di gas radon nelle abitazioni svizzere di 66 Bq/m³ (media aritmetica ponderata secondo il tipo di casa, la ripartizione della popolazione e la differenza tra estate e inverno) corrisponde perciò a un effettivo di dose annuo di 1.8 mSv. Se si tiene inoltre conto del radon respirato all'aperto e dei prodotti di decadimento del toron, con una quota del 10 per cento ognuno, il valore totale sale a circa 2.2 mSv all'anno. L'esposizione dovuta al radon nell'unità, spesso impiegata, di WLM (Working-Level-Month) si ottiene dividendo $C_{Rn} \cdot F \cdot T$ per il fattore 6.3·10⁵ Bq·h·m⁻³/WLM

gettano e si svolgono perciò campagne regionali nelle zone dove si sono già riscontrati valori elevati o dove criteri geologici li lasciano prevedere. Allo scopo di capire meglio la diffusione del radon nelle regioni potenzialmente minacciate, si includeranno nelle ricerche anche aspetti geologici. Campagne di questo tipo hanno avuto sinora luogo nei Cantoni Grigioni, Ticino, Vaud e Vallese e sono attualmente in corso nei Cantoni Ginevra e Ticino. Se ne prevedono altre ancora nei Cantoni Glarona, Vaud, Vallese, Argovia, Uri, Svitto, Obvaldo e Nidvaldo.

Altre attività nel quadro del programma relativo al radon concernono le tecniche di risanamento delle case che presentano alte concentrazioni di radon. Alcuni edifici sono già stati risanati con successo e si sono elaborate le relative raccomandazioni tecniche ad uso degli esperti nel campo dell'edilizia.

4. Esposizione all'irradiazione dovuta a radionuclidi naturali e artificiali ampiamente diffusi nell'ambiente

Come negli anni precedenti, anche nel 1992 la radioattività artificiale presente **nell'aria e nelle precipitazioni** era assai modesta. Nell'aria era compresa tra pochi e una dozzina (Ticino) di $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ di cesio-137, dovuto per la maggior parte alla risospensione dei depositi di Cernobil. Non si sono potuti accertare altri radionuclidi artificiali. Il berillio-7 presente nell'aria varia a seconda delle stagioni, raggiungendo in estate un massimo compreso tra 1 e 5 mBq/m^3 . Dalle misure dei gas nobili radioattivi nell'aria risulta una media di circa 1 Bq/m^3 per il cripton-85, mentre i valori dell'argon-37 variano tra 1 e 4 mBq/m^3 . La parte del carbonio-14 nell'aria dovuta agli esperimenti con bombe atomiche è ancora diminuita e corrisponde oggi al 12% circa della componente naturale. Il contributo dei radionuclidi artificiali nell'aria alla dose d'irradiazione esterna e alla parte di quella interna incorporata con la respirazione corrisponde a meno di un decimillesimo di millisievert all'anno ed è perciò trascurabile. La radioattività artificiale nelle precipitazioni era sempre inferiore al limite di misura di 0.04 Bq/l . Nel Canton Ticino (Locarno Monti), la radioattività depositata nel 1992 con le precipitazioni e, rispettivamente, a secco era di 14, rispettivamente meno di 3 Bq/m^2 per il cesio-137 e di 1100, rispettivamente 19 Bq/m^2 per il berillio-7, radionuclide naturale originato dalla radiazione cosmica. Il contenuto di tritio nelle precipitazioni, misurata nei campioni mensili di regioni non influenzate dalle evacuazioni di aziende, era ancora compreso tra 1 e 3 Bq/l .

Per quanto riguarda la radioattività misurata nel 1992 nei **campioni di suolo e d'erba**, non si sono riscontrate differenze significative rispetto all'anno precedente, ad eccezione del cesio-134 che, dato il suo breve periodo di dimezzamento, sta a poco a poco scomparendo. Le differenze regionali del contenuto di cesio-137 nei campioni di suolo rispecchiano la ripartizione, già constatata nel 1986, delle ricadute di Cernobil; nel Ticino (10 a 40 kBq/m^2), come anche nelle regioni particolarmente colpite delle Alpi, del Giura e della Svizzera orientale (5 a 20 kBq/m^2) le concentrazioni misurate sono difatti ancora superiori a quelle del resto della Svizzera (0.3 a 3 kBq/m^2). Per il cesio-137 proveniente dalle ricadute delle bombe atomiche le differenze sono meno notevoli: ca. 2 a 8 kBq/m^2 nelle Alpi e 1 a 4 kBq/m^2 nel resto della Svizzera. Il cesio-137 depositatosi sul suolo decade con un periodo di dimezzamento di 30 anni e, su terreno naturale, penetra a mano a mano in strati più profondi (nel 1992 fino a 10 cm circa per il cesio proveniente da Cernobil e fino a 30 cm per quello delle ricadute). Dove il terreno è sfruttato a scopo agricolo, l'aratura lo distribuisce inoltre su uno strato di circa 30 cm di profondità. Sul terreno boschivo il cesio permane più a lungo nello strato più alto; per questo motivo, nei boschi il suo contributo alla dose esterna è attualmente circa doppio di

quello causato altrove. L'acqua piovana ne trasporta in genere soltanto una parte irrilevante. Anche lo stronzio-90 si trova oggi generalmente ripartito in modo omogeneo su uno strato di circa 30 cm. Ad eccezione dei radionuclidi menzionati, di tracce di antimonio-125 nel Ticino e di cobalto-60 nelle vicinanze della centrale nucleare di Mühleberg non si è accertata alcuna radioattività artificiale.

Le **dosi d'irradiazione esterna** all'aperto sono causate soprattutto dalla radioattività presente nel suolo e dalla radiazione cosmica. Quest'ultima aumenta con l'altitudine. Per la sorveglianza di queste dosi si applica da un lato la spettrometria in situ, ossia la misura sul posto delle singole componenti della radioattività artificiale e naturale presente nel suolo, e dall'altro la rete NADAM di controllo automatico delle dosi ambiente. Nei punti esaminati nel 1992 per mezzo di misure in situ, si sono riscontrate dosi ambiente totali da 0.7 a 1.8 mSv/anno. La parte naturale, compresa tra 0.7 e 1.3 mSv, deriva dai radionuclidi presenti nel suolo - come il potassio-40 e gli isotopi delle catene di decadimenti urano-radio e torio - e dalla radiazione cosmica. La parte artificiale, la radioattività di origine umana, costituita soprattutto dal cesio-137 proveniente dalle ricadute delle armi nucleari e dell'incidente di Cernobil ed eventualmente dalle evacuazioni locali delle centrali nucleari, varia tra 0.02 e 0.6 mSv/anno. La parte dovuta a Cernobil è compresa tra 0.01 mSv/anno nella Svizzera occidentale e 0.6 mSv/anno nel Ticino, mentre il contributo degli esperimenti con armi nucleari svolti in passato è soltanto ancora di 0.01 mSv/anno presso tutti i punti di misura. Non si sono riscontrate altre componenti artificiali. Nel punto critico "Ufem Horn", il contributo derivante dal contrattacco avvenuto nel settembre del 1986 presso la centrale nucleare di Mühleberg era, nel 1992, di 0.05mSv/anno al massimo.

La rete di misura automatica **NADAM**, composta di 58 stazioni che trasmettono ogni 10 minuti i loro dati alla Centrale nazionale d'allarme (CENAL) a Zurigo, ha registrato nella media del 1992 per i singoli punti di misura valori compresi tra 1.0 e 1.3 mSv/anno per il Giura, l'Altopiano e le Prealpi e tra 1.1 e 2.0 mSv/anno per le Alpi centrali e la Svizzera meridionale. Poichè il Cesio proveniente da Cernobil nel suolo si decompone e penetra inoltre in strati più profondi del terreno, la dose ambiente tende a diminuire leggermente. Questo calo, che negli ultimi cinque anni è stato del 3 per cento circa all'anno, ha potuto esser dimostrato sull'esempio delle stazioni di misura di Lugano e Hinterrhein.

All'interno delle case la dose d'irradiazione esterna risulta lievemente attenuata per l'influsso schermante dei muri; d'altra parte viene ad aggiungersi il contributo dei radionuclidi contenuti nei materiali di costruzione. Tutto sommato, quest'ultimo prevale solitamente sull'effetto attenuante dei muri dell'edificio. Il cosiddetto "housing-factor", ossia il rapporto tra la dose d'irradiazione in casa e quella all'aperto, è di circa 1.3. Se si presuppone una permanenza all'aperto del 20% circa (vale a dire che l'80% del tempo è trascorso in casa), si ottiene, applicando un fattore di conversione delle dosi ambiente misurate in dosi individuali, un valore medio di 0.45 mSv/anno per l'esposizione a radiazioni terrestri e 0.34 mSv/anno per quelle cosmiche.

La sorveglianza dei sistemi acquatici comprende **le acque di superficie e la falda freatica, i pesci, le piante acquatiche, i sedimenti, gli impianti di depurazione e gli scoli delle discariche**. Nei campioni d'acqua fluviale regolarmente prelevati non erano generalmente accertabili radionuclidi artificiali all'infuori del tritio. Il contenuto di cesio-137 nei pesci del Ceresio, il lago più colpito dagli effetti di Cernobil, è nettamente diminuito: nel 1992 era inferiore a 100 Bq/kg. Nei sedimenti si riscontrano ancora contributi di cesio provenienti in primo luogo dall'incidente nel reattore di Cernobil; a valle delle centrali nucleari si osservano

anche contributi causati dalle emissioni liquide di quest'ultime, nelle acque di superficie si trova in parte tritio derivante dalla fabbricazione e dall'applicazione di vernici luminescenti e iodio-131 proveniente dagli ospedali. Per quanto riguarda le zone circostanti gli impianti e le aziende nucleari nonché gli ospedali, si vedano le sezioni 5 e 6.

La sorveglianza della **radioattività nelle derrate alimentari** si svolge in stretta cooperazione con i laboratori cantonali. La radioattività artificiale presente nelle principali derrate alimentari (latte, cereali e carne), costituita da cesio-134, cesio-137 e stronzio-90, è modesta, a nord delle Alpi solitamente inferiore al limite di misura. Valori in parte ancora elevati di cesio dovuti all'incidente di Cernobil si trovano nella selvaggina importata, in determinati funghi domestici non coltivati (soprattutto boleti dei castagni e agarici rugosi) e in quelli importati. Rispetto all'anno precedente si registra tuttavia un leggero calo. Dato il basso tasso di consumo di selvaggina e funghi, le relative dosi d'irradiazione sono modeste. Sul fondamento del contenuto di cesio nelle derrate alimentari, si calcola che nel 1992 una persona con abitudini alimentari medie in Svizzera ha subito un'irradiazione di alcuni millesimi di millisievert. Come dimostrano studi svolti nel 1991, anche un consumo regolare delle acque minerali in commercio con un modesto contenuto di radionuclidi naturali causa al massimo un'irradiazione di alcuni centesimi di millisievert all'anno [4].

Per controllare la **radioattività presente nell'organismo umano** si determina lo stronzio-90 nelle vertebre e nei denti di latte e si svolgono misure dell'intero organismo per stabilirne il contenuto di cesio e potassio. Lo stronzio ha un comportamento fisiologico simile a quello del calcio ed è perciò incorporato nell'organismo umano soprattutto nei denti e nelle ossa, mentre il cesio subisce un metabolismo analogo a quello del potassio e si trova perciò più che altro nel tessuto muscolare. Nel 1992, i valori misurati in Svizzera per lo stronzio-90 nelle ossa e nei denti di latte erano assai bassi. Lo stronzio-90 incorporato nell'organismo causa una dose d'irradiazione di circa due millesimi di millisievert all'anno. Misure dell'intero organismo si svolgono regolarmente all'Istituto Paul Scherrer (PSI) e all'Ospedale cantonale di Ginevra. Nel 1992, dalle misure svolte su collaboratori dell'PSI risultavano quantità di cesio-137 inferiori a 100 Bq per persona, da quelle su liceali ginevrini di 17 a 19 anni soltanto 20 Bq circa. Questa concentrazione corrisponde a una dose inferiore a un millesimo di millisievert all'anno; si confermano così i calcoli svolti in base alle analisi summenzionate delle derrate alimentari.

5. Esposizione ad irradiazione nelle immediate vicinanze degli impianti nucleari

Nelle licenze delle centrali nucleari di Beznau, Gösgen-Däniken, Leibstadt e Mühleberg e dell'Istituto Paul Scherrer (PSI) sono posti alle evacuazioni di sostanze radioattive limiti stabiliti in modo che la dose d'irradiazione della popolazione residente nelle vicinanze non superi 0.2 mSv/anno. Le aziende devono tenere continuamente sotto controllo le sostanze radioattive emanate con l'aria o l'acqua di scarico e a redigerne il bilancio. La Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN) controlla le loro dichiarazioni con misure proprie e calcola le dosi massime d'irradiazione della popolazione circostante. Nell'anno in rassegna, gli impianti nucleari hanno osservato i valori limite e gli abitanti delle immediate vicinanze erano esposti a un'irradiazione di meno di 0.015 mSv per la centrale nucleare di Mühleberg e meno di 0.006 mSv per quelle di Beznau, Gösgen-Däniken e Leibstadt. Per queste ultime, il contributo principale era quello delle emanazioni di carbonio-14. Nelle vicinanze dell'Istituto Paul Scherrer, le dosi massime d'irradiazione della popolazione circostante, calcolate sul fondamento delle emanazioni, sono di 0.008 mSv/anno. Per un contrattempo

nella produzione d'isotopi nell'PSI-ovest si sono liberati nella direzione di Villigen/Rüfenach, l'11/12 maggio 1992, circa 300 GBq di xenon-123/iodio-123. I limiti di ricaduta non sono tuttavia stati superati e la dose massima d'irradiazione della popolazione circostante calcolata era inferiore a 0.001 mSv; misure aggiuntive svolte nelle vicinanze hanno confermato questi calcoli.

La **sorveglianza dell'ambiente circostante** gli impianti nucleari si svolge in stretta collaborazione tra la Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN), l'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP/SSR) e altre istituzioni. I programmi e metodi di misura includono, accanto alle dosi ambiente, la radioattività presente nel suolo, nell'erba, nei cereali, nel latte e in altri prodotti agricoli, come anche nell'acqua fiumana, nella falda freatica, nei pesci, nelle piante acquatiche e nei sedimenti; le complementano misure in situ. Le misure della radioattività svolte nell'anno in rassegna nelle vicinanze degli impianti nucleari non hanno rilevato concentrazioni o dosi superiori ai valori limite. L'influsso degli impianti è accertabile, seppure in scarsa misura, nelle radiazioni dirette nelle immediate vicinanze di reattori ad acqua bollente, nei sedimenti e nelle piante acquatiche dei corsi fluviali a valle degli impianti e nel contenuto di carbonio-14 delle foglie degli alberi. Le ripercussioni sull'esposizione della popolazione a radiazioni non sono tuttavia di rilievo dal punto di vista radiologico.

6. Esposizione ad irradiazione nei dintorni di aziende industriali ed ospedali

Le aziende che lavorano con sostanze radioattive devono essere in possesso di una licenza. L'Ufficio federale della sanità pubblica sorveglia gli istituti che si occupano di medicina, ricerca o insegnamento, l'Istituto nazionale svizzero d'assicurazione contro gli infortuni (INSAI) le aziende industriali, commerciali e artigianali, i laboratori d'analisi e aziende o uffici corrispondenti dell'amministrazione pubblica. L'autorità di sorveglianza può esigere dalle aziende che manipolano grandi quantità di sostanze radioattive un bilancio delle loro emissioni e ordinare eventualmente l'osservazione dell'ambiente circostante (precipitazioni, acque di superficie, sorgenti, ecc). Il primo provvedimento si applica alle ditte Radium-Chemie a Teufen/AR e MB-Microtec a Niederwangen/BE che producono vernici o fonti luminescenti al tritio, il secondo alla città di La-Chaux-de-Fonds, dove queste vernici sono impiegate nell'industria orologiera.

Nel 1992, le **aziende industriali** tenute a presentare all'INSAI un bilancio delle loro emissioni hanno osservato i limiti posti dalle loro licenze all'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente. Dalle misure svolte nelle vicinanze di aziende della regione di La Chaux-de-Fonds e di Teufen/AR non sono risultati casi di inosservanza dei valori limite; negli ultimi anni si nota tuttavia che la concentrazione di tritio nelle precipitazioni tende ad aumentare. A Teufen si è misurato in febbraio un valore massimo di 7 kBq/l. Nelle acque di scolo dell'impianto di depurazione di La Chaux-de-Fonds, le concentrazioni di tritio misurate nel 1992 erano inferiori a 9 kBq/l e non si sono più riscontrati (come nel 1991) valori superiori a quello di 12 kBq/l fissato dall'Ordinanza sulla radioprotezione ($C_w/300$, secondo l'art. 107) come limite per l'acqua del ricettore. Le indagini svolte sinora indicano che queste fuoriuscite di tritio non derivavano da emissioni illecite di singole aziende, bensì dalle acque di scolo del gorgogliatore di lavaggio del gas combusto dell'incenerimento regionale dei rifiuti di La-Chaux-de-Fonds, dove si bruciano anche rifiuti dell'industria orologiera che contengono tritio. L'INSAI, quale autorità di sorveglianza, è al corrente del problema e ha già svolto tre

campagne di raccolta dei rifiuti radioattivi dell' industria orologiera allo scopo di ridurre queste evacuazioni incontrollate nell'ambiente.

Le emanazioni degli **ospedali** nelle grandi città (Zurigo, Basilea, Berna e Losanna) - essenzialmente iodio-131 impiegato per il trattamento della tiroide - sono sottoposte ad un continuo controllo con la raccolta di campioni dall'impianto di depurazione. Questi campioni e in parte anche i fanghi di depurazione contengono perciò spesso iodio-131, nell' acqua si trova a volte anche tritio. Durante due settimane alla fine di gennaio e all'inizio di febbraio del 1992 si sono nuovamente misurati all'uscita dell'impianto di depurazione di Berna valori elevati di iodio-131 di 8 e 11 Bq/l, corrispondenti ad un deflusso settimanale di 8, rispettivamente 11 GBq. In cooperazione con l'autorità di autorizzazione, sono in corso ricerche volte a stabilire la provenienza di questo iodio radioattivo e a verificare le emanazioni dell'Inselspital; molto probabilmente la radioattività proviene infatti dalla terapia allo iodio praticata su pazienti di quest'ospedale affetti da malattie tiroidali.

Poichè, in tutti i casi menzionati, le acque non sono destinate al consumo umano e vengono più tardi fortemente diluite con l'immissione nell'Aar o nel Doubs, si può escludere con un alto grado di certezza che la popolazione ne abbia tratto dosi addizionali d'irradiazione. A parte queste eccezioni, non si sono costatate, nelle vicinanze delle aziende sorvegliate, concentrazioni particolarmente elevate; le dosi d'irradiazione della popolazione dovute alle emanazioni radioattive di tali aziende sono nettamente inferiori ai valori limite ammessi. Da analisi svolte in passato sull'urina di persone residenti in prossimità delle due aziende menzionate che impiegano tritio per la produzione di vernici luminescenti sono risultate dosi dovute al tritio di 0.03 mSv/anno al massimo.

7. Valutazione del programma di sorveglianza

I programmi di sorveglianza e i risultati che ne derivano sono adeguati per raggiungere gli obiettivi indicati, ossia per determinare le dosi d'irradiazione della popolazione, per osservare le tendenze di sviluppo a lungo termine e per sorvegliare le immissioni di impianti e aziende nucleari.

Per quanto riguarda la **radioattività ambientale artificiale**, ampiamente diffusa nell'aria (aerosoli radioattivi e gas nobili), nelle precipitazioni (bilanci di deflusso dei grandi fiumi) e nel suolo (osservazione delle ricadute delle armi nucleari e di Cernobil), la sorveglianza ha per oggetto attività modeste, spesso accertabili soltanto ancora con metodi di misura complessi e procedimenti di basso livello. Per osservare le tendenze di sviluppo a lungo termine del cesio-137, dello stronzio-90, del carbonio-14, del tritio e dei gas nobili radioattivi bastano tuttavia pochi punti di prelievo dai quali si raccolgono campioni di misura a lunghi intervalli. Per il tritio, lavorato in Svizzera in quantità ingenti, è auspicabile redigere un bilancio dei deflussi attraverso le precipitazioni e le acque di superficie. Dal 1993 si dedicherà maggiore attenzione anche all'accertamento di emettitori alfa nei campioni prelevati dall'ambiente.

Oggetto principale del **programma radon** sono le ricerche nelle regioni di particolare rischio. Le completano gli studi sulla provenienza e il trasporto del radon nel suolo, i risanamenti sperimentali di case con elevate concentrazioni di radon e l'elaborazione delle relative raccomandazioni per l'edilizia. Ai radionuclidi naturali nell'ambiente e al loro contributo alla dose d'irradiazione esterna all'aperto e all'interno delle case è dedicato un progetto dell'UFSP iniziato nel 1992.

Grazie alla partecipazione impegnata dei Cantoni, il grado di sorveglianza della radioattività nelle **derrate alimentari** è sufficiente in tutto il Paese. Dodici laboratori operano infatti autonomamente i rilevamenti e in parte anche le misure sul loro territorio. Questo vale tanto per gli alimenti di base, nei quali, all'infuori del Ticino, non è solitamente più accertabile alcuna attività artificiale, quanto per i "casi speciali" della selvaggina e dei funghi, dove si delinea un leggero calo. Il programma di misura resterà analogo ancora nel 1993, mentre dal 1994 si potrebbe eventualmente ridurre il numero dei campioni per gli alimenti di base. Dal 1993 si condurranno inoltre ricerche particolari sulla presenza di radionuclidi naturali nell'acqua potabile.

I programmi di sorveglianza e i procedimenti d'accertamento applicati nelle **immediate vicinanze degli impianti nucleari** corrispondono allo stato attuale della tecnica. Nel 1993 entreranno in esercizio le reti automatiche di misura dell'intensità di dose nelle immediate vicinanze delle centrali nucleari (MADUK). La sorveglianza sarà così intensificata e automatizzata. Verranno inoltre ad aggiungersi nel 1993 due nuovi punti di raccolta dell'acqua piovana: uno presso la centrale nucleare di Mühleberg e uno presso quella di Beznau. La diffusione delle emissioni liquide di radioattività nelle acque e nei sedimenti sottostanti le centrali nucleari è tema di un progetto dell'Istituto federale per l'approvvigionamento, la depurazione e la protezione delle acque (EAWAG).

Nell'ambito della sorveglianza operata nelle immediate **vicinanze delle aziende e degli ospedali**, si delinea la necessità di sottoporre a controllo anche le acque di scolo degli impianti di depurazione di altre città e regioni nonché di esaminare sporadicamente il contenuto nei fanghi di depurazione di iodio proveniente da applicazioni mediche. Nelle vicinanze delle aziende che trattano tritio bisognerà procedere anche in futuro almeno alle misure già in atto, completandole con misure su campioni delle acque di superficie nella zona di Niederwangen/BE e di La Chaux-de-Fonds, rispettivamente con un bilancio continuo del deflusso di tritio dall'Aar a valle Berna.

8. Scambio d'esperienze con istituti specializzati all'estero

I programmi e procedimenti di sorveglianza in Svizzera sono stabiliti tenendo conto di analoghi programmi dei Paesi vicini e delle raccomandazioni di organizzazioni specializzate in materia sul piano internazionale. Su questi temi, sulla valutazione dei risultati e sulle questioni concernenti i rischi legati all'irradiazione, gli istituti specializzati svizzeri partecipano ad uno scambio internazionale di esperienze che si svolge attraverso commissioni e società tecniche interstatali. Nell'ambito di questa cooperazione internazionale ha avuto luogo nel settembre 1992 un seminario sul tema **EFFETTI AMBIENTALI DEGLI IMPIANTI NUCLEARI**, tenutosi in collaborazione con la federazione germano-svizzera degli esperti in radioprotezione "**Fachverband für Strahlenschutz**" e con la "**Société française de radio-protection**". Quattro erano i temi principali di questa manifestazione, alla quale hanno partecipato all'incirca 300 esperti svizzeri, tedeschi, francesi e di altri Paesi: 1) *Sorveglianza e bilancio delle emissioni radioattive*, 2) *Diffusione delle sostanze radioattive nell'ambiente*, 3) *Procedimenti di sorveglianza e programmi di misura*, 4) *Come superare le conseguenze di contrattempi ed infortuni*. Il seminario ha permesso di ottenere una visione globale degli effetti ambientali di impianti nucleari in Germania, in Francia e in Svizzera, nonché della struttura e del funzionamento dell'apparato d'emergenza di questi Paesi in caso di incidenti con rischi radiologici. Dalla discussione conclusiva è emerso quanto sia importante cooperare ol-

tre le frontiere statali per armonizzare i procedimenti di sorveglianza e la valutazione dei rischi d'irradiazione, nonché nel campo d'applicazione dei provvedimenti per casi d'emergenza. Sono inoltre necessari ancora sforzi soprattutto per quanto riguarda l'informazione del pubblico sulla radioattività e i rischi legati all'irradiazione, nonché per una formazione continua degli specialisti in materia di radioprotezione e il promovimento delle nuove leve. Gli esiti del seminario sono pubblicati in inglese in un'edizione speciale della rivista **RADIOPROTECTION** [6].

9. Contributi principali all'esposizione radiologica e valutazione del rischio legato all'irradiazione

In media, la dose d'irradiazione della popolazione risulta composta dei seguenti elementi, praticamente invariati rispetto all'anno precedente:

Il maggior contributo all'esposizione a radiazioni naturali è sempre ancora quello del radon e dei prodotti del suo decadimento, soprattutto all'interno delle case, con valori compresi tra 0.3 e - in singoli casi - 150 mSv/anno. La media aritmetica ponderata è di 2.2 mSv/anno.

Se si tiene conto della durata di permanenza all'interno di edifici, la radioattività naturale nel suolo e nei materiali di costruzione, ossia quella del potassio-40, dell'uranio, del torio e dei prodotti del loro decadimento, causa in media dosi di circa 0.45 mSv/anno. I valori sono compresi tra 0.2 e 1.5 mSv/anno e dipendono dal contenuto di nuclidi del suolo o dei materiali di costruzione.

Il contributo della radiazione cosmica aumenta con l'altitudine. Nella media Svizzera comporta circa 0.34 mSv/anno. Nelle regioni abitate, i valori oscillano tra 0.25 e 0.9 mSv/anno.

I radionuclidi naturali incorporati nell'organismo provocano dosi medie di circa 0.38 mSv/anno, con valori compresi tra circa 0.2 e 0.5 mSv/anno. Il contributo principale è quello del potassio-40; quest'isotopo costituisce lo 0.12 per mille del potassio esistente in natura. E' assorbito con il cibo e incorporato soprattutto nel tessuto muscolare. Per confronto: la dose dovuta a radioattività artificiale ingerita con il cibo (soprattutto cesio-137 e stronzio-90) è inferiore a 0.01 mSv/anno.

Per quanto riguarda le dosi d'irradiazione provenienti da fonti artificiali, predomina la parte derivante dall'applicazione medica delle radiazioni, ad esempio per la radiodiagnosi, e dei radionuclidi, ad esempio per la medicina nucleare. Secondo rilevamenti svolti in passato, i valori medi d'irradiazione della popolazione si situano intorno a 1 mSv/anno per la radiodiagnosi e 0.04 mSv/anno per la medicina nucleare. Le dosi individuali dipendono dal tipo e dalla frequenza dell'esame o trattamento medico e possono raggiungere massimi di 30 mSv/anno a causa della radiodiagnosi e 80 mSv/anno a causa della medicina nucleare.

Le ripercussioni dell'incidente nel reattore di Cernobil causano in Svizzera soltanto ancora modeste dosi d'irradiazione, soprattutto attraverso il cesio-137 sedimentato sul suolo o ingerito con il cibo. La dose totale media d'irradiazione della popolazione Svizzera dovuta a Cernobil è di circa mezzo millisievert, di cui la maggior parte è già stata accumulata. La dose media d'irradiazione interna ed esterna causata dall'incidente di Cernobil nel 1992 era inferiore a circa 0.01 mSv/anno.

Le ripercussioni degli esperimenti con armi nucleari svolti negli anni '50 e '60 sono oramai minime; nel 1992 hanno causato in media dosi d'irradiazione nettamente inferiori a 0.01 mSv/anno.

Altre dosi, difficilmente valutabili isolatamente, derivano da fonti minori, ossia dall'impiego di sostanze radioattive in oggetti d'uso come ad esempio orologi, dal polonio-210 aspirato con il fumo e dalle dosi più elevate causate dall'aviazione civile. Per quanto riguarda ad esempio l'aviazione civile, i contributi di dose della radiazione cosmica a un'altitudine 10, rispettivamente 12 km corrispondono a 5, rispettivamente 8 μ Sv/ora. Il personale di volo subisce perciò una dose addizionale d'irradiazione annua di circa 2 a 3 mSv. Per la media della popolazione, è tuttavia improbabile che la somma di tutti questi contributi superi 0.1 mSv/anno.

Anche se si presuppongono condizioni sfavorevoli per quanto riguarda il tempo passato all'aperto e il consumo di derrate alimentari, la dose d'irradiazione massima calcolata per chi abita nelle immediate vicinanze delle centrali nucleari come conseguenza delle emanazioni di queste ultime nel 1992 era di 0.015 mSv/anno.

Le emanazioni di industrie ed ospedali provocano presso gli abitanti della zona circostante dosi generalmente non misurabili. Nei casi in cui gli influssi sulla zona limitrofa sono misurabili, misure svolte in passato hanno permesso di calcolare per la popolazione delle immediate vicinanze dosi d'irradiazione massime di 0.03 mSv/anno.

Le persone professionalmente esposte occupate nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina (57'823 persone in tutto) hanno subito nel 1992 dosi sull'intero organismo di 35 mSv/anno al massimo; il 95,5% dei valori era tuttavia inferiore a 1 mSv/anno. La dose individuale media era di 0.23 mSv/anno.

La metà circa dell'esposizione totale media della popolazione Svizzera a radiazioni, che si aggira sui 4.6 mSv/anno, deriva dal radon e dai prodotti del suo decadimento, un quarto dall'irradiazione naturale rimanente, un quarto dalla medicina e dalle altre fonti artificiali d'irradiazione. Il contributo di queste ultime (esclusa la medicina) è inferiore a 0.2 mSv/anno. Sul fondamento dei nuovi fattori di rischio definiti dalla Commissione internazionale di radioprotezione ICRP [1], l'esposizione media della popolazione ad irradiazione è da valutarsi come segue (le cifre indicate non sono che giudizi approssimativi e assai incerti):

- la dose d'irradiazione naturale di circa 1 mSv/anno (senza il radon) è probabilmente all'origine del 2 per cento circa dei casi di decesso per cancro che avvengono ogni anno in Svizzera;
- la dose d'irradiazione dovuta alle fonti artificiali (senza la medicina), pari a 0.2 mSv/anno, contribuisce al tasso di mortalità per cancro con meno dello 0.4 per cento;
- secondo quanto si stima sinora, circa un settimo dei casi di decesso per cancro ai polmoni sarebbe da attribuirsi al radon e ai prodotti del suo decadimento nei locali abitati (2.2 mSv/anno);
- le ripercussioni genetiche dell'irradiazione si esprimono come tare ereditarie gravi (mutazioni dominanti e dei cromosomi X) presso i discendenti. L'irradiazione naturale esterna di 1 mSv/anno (senza il radon), ossia di 30 mSv/generazione, è probabilmente all'origine dell'uno a sei per cento circa dei 10'000 casi di tare ereditarie gravi che si hanno su un

milione di nati vivi. Il contributo della dose d'irradiazione artificiale di 0.2 mSv/anno (senza la medicina) è cinque volte inferiore.

10. Bibliografia

- [1] 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, Annals of the ICRP, vol. 21/1-3; Pergamon Press Oxford, 1991, ISBN 0-08-041144-4 o ISSN 0146-6453
- [2] Health Risk of Radon and other internally deposited Alpha-Emitters. BEIR-IV. National Academy Press Washington D.C., 1988, ISBN 0-309-03789-1 o 0-309-03797-2.
- [3] Radon-Programm-Schweiz "RAPROS": Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991; UFSP Berna, marzo 1992. ISBN 3-905235-00-5
- [4] Radioattività dell'ambiente in Svizzera, Rapporto per l'anno 1991. UFSP Berna, ottobre 1992. ISBN 3-905235-04-8
- [5] Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters. ICRP Publication 50; Pergamon Press Oxford, 1987, ISBN 0-08-035579-X o ISSN 0146-6463
- [6] Environmental Impact of Nuclear Installations. RADIOPROTECTION Special Issue, 1993, Les Editions de Physique, Les Ulis/France 1993. ISBN 2-86883-182-6.

FIG. 1 : DOSE EFFETTIVA MEDIA ANNUALE DELLA POPOLAZIONE SVIZZERA IN MILLI-SIEVERT (1992)

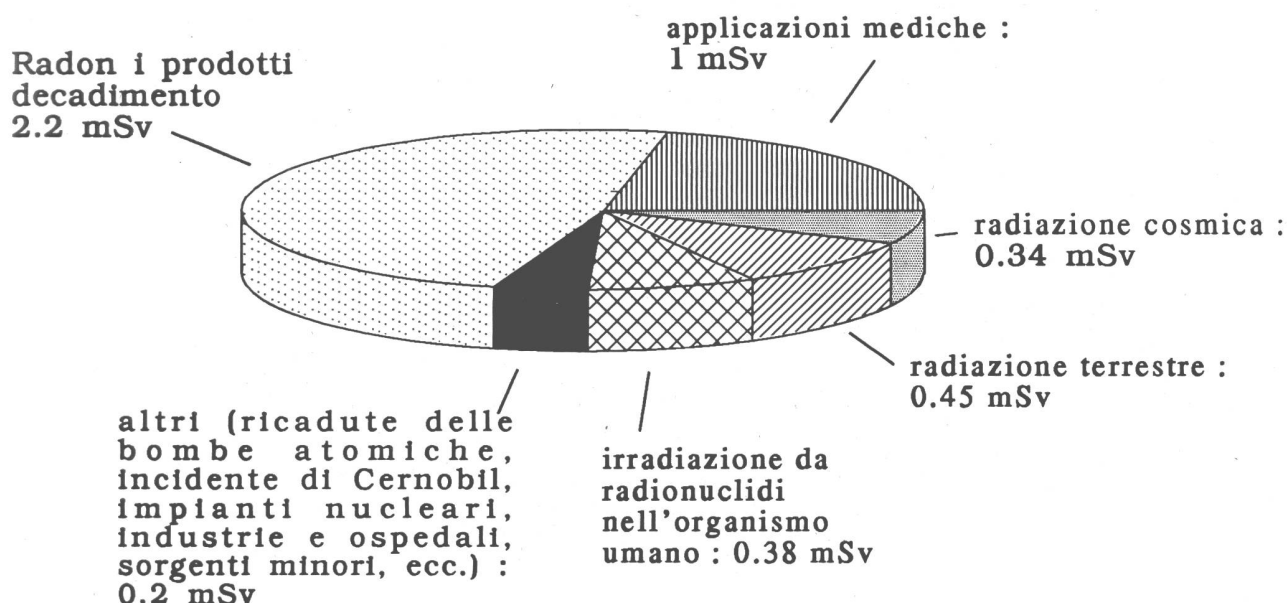
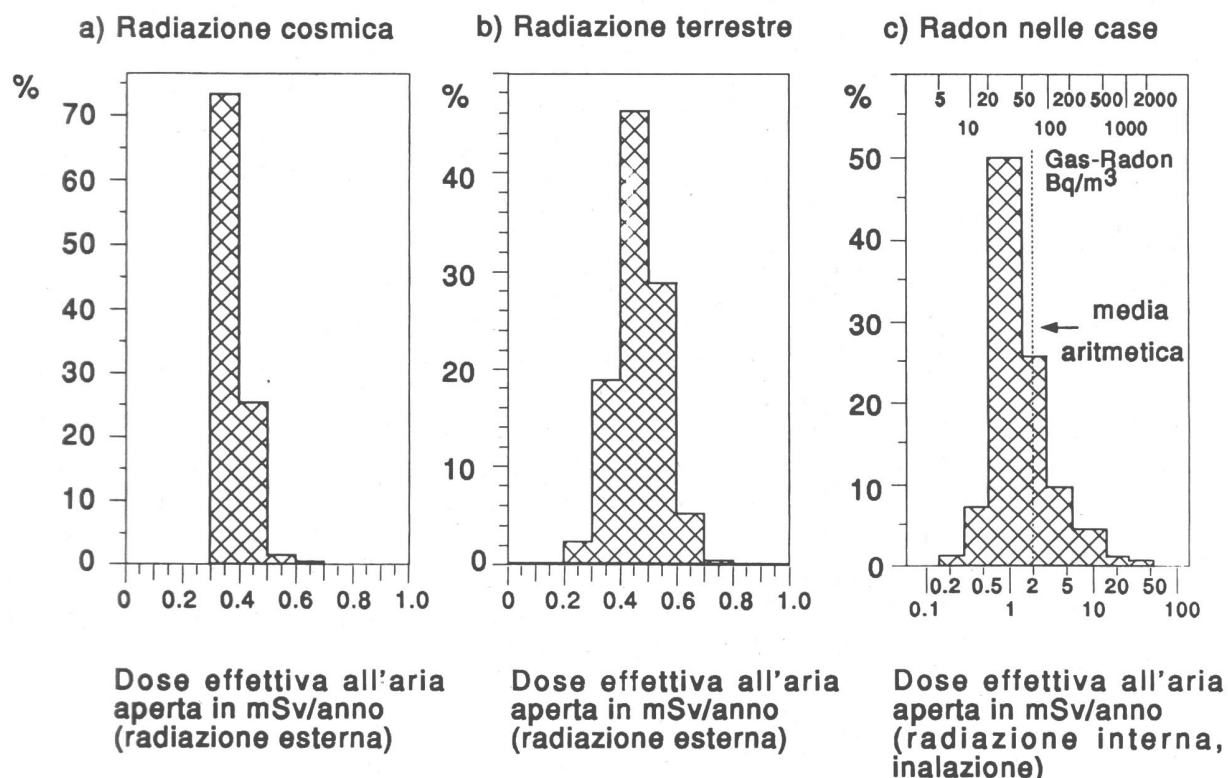


FIG. 2 : DISTRIBUZIONE APPROSSIMATIVA DELLE DOSI IN SVIZZERA

I dati, basati sulle misure fino al 1991, sono pesati con la distribuzione della popolazione. Le misure del radon sono corrette per il tipo di casa, la distribuzione della popolazione e la differenza fra estate e inverno.

Le dosi di radon hanno una grande variazione (si noti la scala logaritmica)



A. ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AND RADIATION EXPOSURE IN SWITZERLAND: AN OVERVIEW

H. Völkle, Radioactivity Surveillance Branch (SUER),
Federal Office of Public Health (BAG), Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

Summary

This report summarises the 1992 results of the environmental radioactivity monitoring programme together with interpretation and outcoming radiation exposure of the Swiss population. The surveillance programme includes radioactivity of air, rain, surface water, soil, vegetation, food, etc. as well as natural radioactivity, exposure by radon in dwellings, radioactivity released to the environment by nuclear installations and other enterprises processing radioisotopes and further radiation sources. In 1992, Swiss nuclear power stations and industrial plants licensed to process radionuclides respected their limits for radioactivity releases to the environment, and no inadmissible concentrations or ambient doses have been detected in the surroundings. The mean radiation exposure of the public amounted, as in the previous years, to approximately 4.6 mSv per year. Thereof 2.2 mSv derived from natural radon in dwellings whereas the total artificial radioactivity without those from medical applications yielded less than 0.2 mSv per year.

1. Legislation, Radiation Units and Quantities

According to the actual Swiss **legislation**, the Radiation Protection Ordinance (SSVO) from 1976, radioactivity releases from any plant should not produce environmental concentration in both air and water of such a degree that a person living at this place and drinking from that water could accumulate radiation exposure exceeding 0.5 mSv per year for either inhalation or drinking water. Furthermore, the allowed limit of combined caesium-134 and caesium-137 concentration in milk, cream, milk preserve, baby food or all other food to be sold is 370 Bq/kg or 600 Bq/kg respectively. However, a new Radiation Protection Ordinance (STRAVO) based on the new ICRP recommendations from 1991 [1] is in preparation.

The results of **radioactivity measurements** are reported in Becquerel (Bq/kg, Bq/L, Bq/m²), defined as one radioactive decay per second. The former unit was Curie (Ci) with 1 nCi = 37 Bq, 1 pCi = 37 mBq or 1 Bq = 27 pCi respectively; p = pico = 10⁻¹²). For one thousandth, one millionth or one billionth the prefixes milli-, micro- and nano are used.

The **radiation doses** of the public are reported as effective Dose in mSv (milli-Sievert) this quantity being considered as an adequate one to evaluate biological effects of ionising radiation in men. It is independent of type and origin of radiation and is defined as a weighted sum of the individual organ doses. Radiation effects are divided into direct or **somatic** and **hereditary effects**. Direct effects such as cancer appear in the irradiated individual itself whereas the hereditary ones as malformations in the offspring. In addition, irradiation is called **external**, when the radiation source is outside the irradiated individual and **internal** when radioactivity enters the body by food, drinking water or respiration. External exposures

are calculated on the basis of measured ambient dose rates using a mean conversion factor of $1 \text{ Sv} \approx 100 \text{ R}$ or $10 \text{ nSv/h} \approx 1 \text{ } \mu\text{R/h}$ respectively. As persons normally do not stay all the time within the considered radiation field, one has to consider the real residence time that leads to radiation exposures much lower than the measured ambient doses.

As far as the origin of radiation is concerned we distinguish between **natural radiation** (by terrestrial radioactivity, cosmic radiation and radionuclides in the human body) and **artificial radioactivity** from atomic weapon tests, from the Chernobyl reactor accident and from releases to the environment by nuclear installations, industries, hospitals etc. as well as by other medical applications of radiation and radionuclides.

2. Goals of the monitoring programme and participating laboratories

The monitoring programme has three main goals:

- 1) to follow **globally dispersed environmental radioactivity** specially to detect any weak trend in long lived artificial radionuclides,
- 2) to check the observance of the **radioactivity concentration limits** in the vicinity of nuclear installations and other enterprises processing radionuclides,
- 3) to determine national and regional mean values, as well as variation ranges, of **public radiation** exposures from artificial and natural sources; special attention has to be paid to radon in dwellings.

Research on the behaviour of radionuclides in the ecosystem can nevertheless not be a main goal of such a programme as sampling and measurement's accuracy does not always fulfil scientific and statistic criteria to test radioecological models or to determine transfer coefficients.

The routine programme comprises ambient radiation doses, radioactivity of air, rain, deposition onto soil and vegetation, food (milk, cereals and random samples of vegetables, meat, deer, mushroom, imported food, etc.), radioactivity of the human body (caesium-137, strontium-90, potassium-40), water (surface and ground water, aquatic plants, fish, sediments), as well as waste water from nuclear installations, industrial plants and hospitals. Special programmes are dealing with radon measurements in houses, in soil and soil gas, environmental monitoring near nuclear installations and of some long lived globally dispersed artificial radionuclides as tritium, carbon-14, argon-37, krypton-85. The surveillance programme and the monitoring techniques used are up to date and the laboratories involved are in contact with scientists and many institutions abroad.

This programme, i.e. sampling, measurement and reporting co-ordinated by the Federal Office of Public Health (BAG) is accomplished together with different federal and university laboratories and the regional food control authorities. At that stage, we would like to thank to all the collaborators and specially also to the persons involved in maintaining the automatic air and rain samplers, etc. This monitoring programme would have not been possible without their precious co-operation. We thank also Mrs. Gobet for typing and Mr. Gurtner for the art work.

3. Radiation Exposure by Radon and Daughter Products in Houses

Radon and radon daughters cause an effective dose of 2.2 mSv per year on average, i.e. about half of the mean radiation exposure of the Swiss population. The highest observed values reach 150 mSv/year ¹⁾. Radon, a radioactive noble gas produced by radium decay in soil, penetrates the houses mainly through the ground and can accumulate therein. The daughter products enter the lung and lead to an increased lung cancer risk. According to the calculation model of the American BEIR-IV-Report [2] one of seven lung cancer deaths in Switzerland is attributable to radon. This conclusion, however, has not been proven so far by epidemiological studies.

More information about radon measurements in Switzerland is contained in the RAPROS-Report [3] and in the BAG-Report on environmental radioactivity for 1989-90 [4].

The radon measurement performed so far under the RAPROS project produced reliable data on average radon concentrations in Swiss dwellings. One of the aims of actual and further measurements is to increase the percentage of measured houses from 0.3 per cent to 1 per cent, but the most important is the search of houses having high radon concentration. Therefore, further regional radon campaigns are planned in co-operation with local authorities especially in regions where already high concentrations are noticed and/or according to the geological criteria are to be expected. In order to improve the understanding of radon transport in soil further geological studies are necessary in radon risk regions. The cantons of Grisons, Ticino, Vaud and Valais have been already investigated. Additional measurements are on the way in Geneva and Ticino and further ones are planned in Glarus, Vaud, Valais, Aargau, Uri, Schwyz, Ob- and Nidwalden.

Additional studies within the Swiss Radon Project are dealing with remedial actions in houses having high concentrations. Some houses have already been mitigated successfully and recommendations to house constructors are prepared.

4. Radiation Exposure due to globally distributed natural and artificial radionuclides in the environment

In 1992, as in the previous year, artificial radioactivity in **air and rain** was very low. Only a few up to 12 (Ticino) $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ of caesium-137 have been detected in the air, mainly due to re-suspension of Chernobyl fall-out. No other radionuclide was found. Natural beryllium-7 in

¹⁾ The effective dose equivalent (E) is calculated using the measured radon gas concentration C_{Rn} [Bq/m^3] by the following equation:

$$E [\text{mSv}/\text{year}] = C_{\text{Rn}} \cdot F \cdot T \cdot \text{DF}_{\text{Rn}}$$

The equilibrium factor between radon gas and radon daughters in air is about 0.4 and the mean residence time in dwellings 6570 hours (75 per cent of 8760 hours). For the dose conversion factor DF_{Rn} for dwellings the ICRP-50 [5] value, i.e. $10^{-5} \text{ mSv}/\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$, is applied. The measured mean radon concentration for Swiss dwellings of $66 \text{ Bq}/\text{m}^3$, corrected for the real distribution of the different house types, the regional population and the difference between summer and winter, leads therefore to an annual exposure of 1.8 mSv. For thoron daughters and radon in the out-door air 10 per cent for each is added and so an overall value of 2.2 mSv per year is obtained. Many authors use the WLM unit (Working Level Month), obtained by dividing $C_{\text{Rn}}\cdot F\cdot T$ by $6.3\cdot 10^5 \text{ Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}/\text{WLM}$.

the air shows seasonal variations between 1 and 5 mBq/m³ with the maximum during summer time. Radioactive noble gases in the air presented with concentrations of about 1 Bq/m³ for krypton-85 and between 1 and 4 mBq/m³ for argon-37. Carbon-14 concentration in the air is still some 12 per cent above the natural level due to the former atomic bomb tests but is slightly decreasing. All the mentioned artificial radionuclides in the air contributed less than 0.1 µSv to the public radiation exposure by external radiation and inhalation. In rain water artificial radioactivity always was below the detection limit of 0.04 Bq/L. Wet and dry deposition of radioactivity in Ticino (Locarno-Monti) yielded 14 and less than 3 Bq/m² for caesium-137 respectively, whereas for the natural, cosmic ray produced beryllium-7 the corresponding levels were 110 and 19 Bq/m² respectively. In regions far from tritium using industrial plants, tritium measured in monthly rain water samples showed values between 1 and 3 Bq/L.

Radioactivity in **soil and grass** samples from 1992 did not exhibit significant differences to the previous year, except for caesium-134, disappearing slowly according to its physical half life of two years. Caesium-137 in soil samples showed a regional pattern according to the Chernobyl fall-out and gave higher values in Ticino (10 - 40 kBq/m²) and the most touched parts of the Alps, Jura and Eastern Switzerland (5 - 20 kBq/m²) than in the remaining part of the country (0.3 - 3 kBq/m²). Caesium-137 in soil from atomic bomb test fall-out has lower variations: 2 - 8 kBq/m² in the Alps and 1 - 4 kBq/m² in the rest of the country. Caesium-137 in soil decreases according to the physical half live of 30 years and penetrates natural soil slowly. Therefore, in 1992 the contribution resulting from the Chernobyl accident was still in the upper 10 cm whilst the atomic bomb fall-out (from the sixties) already reached 30 cm of depth. But we have to bear in mind that ploughing mixes homogeneously the soil which is agriculturally used down to a level of 30 cm. In contrast, there are evidence that caesium remains in forest soil for a longer time in the upper layer and contributes therefore twice as much to the ambient radiation doses. The amount of caesium carried off by rain water is generally low. Furthermore, strontium-90 shows a homogeneous distribution in soil to a depth of 30 cm. Other radionuclides, such as antimony-125 or cobalt-60 were detectable only as weak traces in the near vicinity of the Mühleberg nuclear power station.

Outdoor **external radiation** is due essentially to radioactivity in soil and to cosmic radiation, the latter increasing with height above sea level. These doses are measured by in-situ-spectrometry, registering the individual components of artificial and natural gamma radiation from soil and by the automatic exposure rate monitoring network NADAM. In situ measurements in 1992 yielded ambient doses between 0.7 and 1.8 mSv/year. The natural component of 0.7 to 1.3 mSv, due to cosmic radiation and natural radionuclides in the soil, such as potassium-40 and the daughter products from the uranium-radium and thorium series is included. The artificial contributions of anthropogenic radionuclides, essentially caesium-137, deriving from either atomic bomb test fall-out, from the Chernobyl reactor accident or locally from nuclear power station releases vary between 0.02 and 0.6 mSv/year. The Chernobyl fraction yields about 0.01 mSv/year in the western part of Switzerland and 0.6 mSv/year in the Ticino, whereas the contribution from earlier nuclear weapon tests at all investigated places was approximately 0.01 mSv/year. No other artificial contributions were detected. The incident of September 1986 at the Mühleberg nuclear power station yielded in 1992 at the critical point "Ufem Horn" at most 0.05 mSv/year.

The automatic Swiss **ambient dose monitoring network NADAM** comprises now 58 stations and transmits its exposure rate values every 10 minutes to the National Emergency Operations Centre (NAZ) at Zürich. In 1992, the annual mean values gave for Jura, Swiss

Plateau and Pre-Alps between 1.0 and 1.3 mSv and for the Alps and Southern Alps between 1.1 and 2.0 mSv. As Chernobyl caesium in soil is decaying and penetrating slowly in deeper soil layers its contribution to radiation exposure decreased in the last five years by about 3 per cent per year as has been calculated for the Lugano and Hinterrhein stations.

Inside buildings, radiation from outside is either shielded by the house walls, or increased by radionuclides contained in building materials. Generally the latter contribution preponderates and the housing factor, defined as ratio between outdoor and indoor exposure rates is greater than unity, on average 1.3. Assuming that the Swiss people stay 20 per cent of their time outdoor and applying the conversion factor for ambient doses to population exposure one obtains a mean population exposure from terrestrial and cosmic radiation of 0.45 mSv/year and 0.34 mSv/year, respectively.

Radioactivity monitoring in **aquatic systems** includes surface and ground water, fish, aquatic plant, river sediments as well as waste water from purification plants and from waste repositories. Regular water samples from rivers did not, apart from tritium, show any artificial radioactivity. Caesium-137 content of fish from the lake of Lugano, the most exposed lake after the Chernobyl reactor accident, showed a clear decrease and the 1992 values were below 100 Bq/kg. In river sediments, there are still some caesium contributions either from the Chernobyl reactor accident or near nuclear installations from their liquid releases whereas in some surface water tritium from the luminous paint industry and iodine-131 from hospitals has been detected. For further informations about the nuclear installation's vicinity see paragraphe 5, about industrial plants and hospitals see paragraphe 6.

Radioactivity in **food** is controlled in close co-operation with the local authorities, i.e. the cantonal chemical laboratories. In staple food, such as milk, cereals and meat artificial radioactivity (i.e. caesium-134, caesium-137 and strontium-90) is weak and north of the Alps in many cases below detection limits. Increased caesium values due to the Chernobyl reactor accident are still detectable in imported deer, in some indigenous wild mushroom, specially *boletus badius* and *rozites caperata*, and in imported mushroom. A slight decrease could be observed. Radiation exposures due to consumption of deer and mushroom is however low taken into account the small quantities consumed. In 1992, for persons with average nutrition habits, the radiation dose from caesium in food was only a few μSv . Moreover, persons drinking regularly mineral water containing natural alpha emitting radionuclides would accumulate at least some additional tens of μSv per year [4].

Radioactivity in the **human body** is determined by strontium-90 measurements in human vertebrae and milk teeth as well as by anthropospectrometric measurements, i.e. in vivo counting of caesium and potassium in the human body. Strontium shows a similar physiological behaviour as calcium and is therefore incorporated in the bones and teeth. In contrast, caesium whose metabolism is similar to that of potassium accumulates more in the muscle. Strontium-90 determinations on human bones and milk teeth from Switzerland gave in 1992 very low values so that the internal radiation exposure from strontium-90 is as low as 2 μSv per year. Whole body measurements are performed regularly at the Paul Scherrer Institute and the Geneva Cantonal Hospital. Measurements from 1992 on staff members of Paul Scherrer Institute yielded caesium-137 values of less than 100 Bq per person, whereas those from 17 to 19 year old girls and boys from a Geneva high school gave on average 20 Bq per person. These concentrations correspond to an internal radiation exposure of less then one μSv per year, which is in agreement with calculated values from food measurements.

5. Radiation Exposure in the Vicinity of Nuclear Installations

The Nuclear Safety Inspectorate (HSK) as licensing authority for nuclear installations has fixed radioactivity release limits for the nuclear power plants Beznau, Gösgen-Däniken, Leibstadt and Mühleberg as well as for the Paul Scherrer Institute (PSI) to such amount, that nobody of the surrounding population could accumulate more than 0.2 mSv per year. The plants have to monitor continuously their radioactivity releases by exhaust air and waste water and to establish a balance which is controlled by the HSK by additional measurements and serves as basis to calculate the maximum radiation exposure of the surrounding population. In 1992, all nuclear installations in Switzerland respected their release limits and the maximum radiation exposure of persons living nearby was below 0.015 mSv at the Mühleberg plant, and below 0.006 mSv for Beznau, Gösgen-Däniken and Leibstadt. As far as Beznau, Gösgen-Däniken and Leibstadt are concerned the highest dose contribution is due to the carbon-14 releases. In the vicinity of the Paul Scherrer Institute the calculated maximum radiation exposure of the population was 0.008 mSv per year. On 11th to 12th of May 1992 a small incident happened at the radioisotope production facility of the PSI (Western part) causing an air release of some 300 GBq of xenon-123/iodine-123 toward the villages of Villigen and Rüfenach. The radioactivity release limits were however not trespassed and the calculated maximum population radiation exposures were, and this has been confirmed by additional measurements in the vicinity, below 0.001 mSv.

Environmental monitoring around nuclear installations is done in close co-operation between HSK, the Federal Office of Public Health (Radioactivity Surveillance Branch) and other laboratories. The Measurement Programme and methods include ambient doses, radioactivity in soil, grass, cereals, milk and other agricultural products, as well as river and ground water, fish, aquatic plant and river sediments and are completed by in situ gamma spectrometry. The radioactivity measurements performed in 1992 around Swiss nuclear installations did not exhibit any concentration or ambient radiation doses beyond the limits. Nevertheless, direct nitrogen-16 radiation is detectable in the close vicinity near boiling water reactors as well as artificial radionuclides in sediments and aquatic plants of the rivers below the installations and a slightly increased carbon-14 concentration in nearby tree leaves. Their contribution to the radiation exposure of the surrounding population however is insignificant.

6. Public Radiation Exposure in the Vicinity of Industrial Plant and Hospitals

Enterprises dealing with radioactive substances need a suitable licence delivered by the Federal Office of Public Health (BAG) for medical devices, research and education, or by the Swiss National Accident Insurance Organisation (SUVA) for industrial applications, trade and commerce, analytical laboratories and institutions of regional and governmental administration. Given the fact that plants are processing greater amounts of radionuclides the licensing authority can impose an annual balance of released radioactivity and/or an environmental monitoring programme including e.g. rain, rivers, water sources, etc. The former applies to the enterprises Radium-Chemie AG at Teufen/AR and MB-Microtec at Niederwangen/BE, producing either tritiated luminous paint or tritium gas light sources, the latter mainly to the watch industry in the region of La Chaux-de-Fonds.

In 1992, all **enterprises** obliged by SUVA to book their radioactivity releases to the environment did follow the corresponding limits. The monitoring programme for La Chaux-de-Fonds and Teufen/AR did not state any infringement of concentration limits but showed in

the passed years an increasing tendency of the tritium concentration in the rain water. Whereas maximum values of 7 kBq/L in rain water were observed in 1992 at Teufen, all the water samples from the water purification plant of La Chaux-de-Fonds were under 9 kBq/L. Values above 12 kBq/L, the legal limit for public water (1/300 of the drinking water limit for radiation workers), as it was in 1991, did not occur. Investigations performed analyzing that high values from 1991 revealed that no individual enterprise trespassed its tritium release limits and that they may be caused by the smoke cleaning device of the regional incineration plant whose waste water is conducted into the municipal water purification station of La Chaux-de-Fonds. It may be the case that tritium containing waste from the watch manufacturing industry is burned in the incineration plant. The supervising authority SUVA being aware of that problem started a programme and collected already three times the tritium containing waste material from the watch manufacturing industry to avoid such uncontrolled releases to the environment.

Radioactivity releases from **hospitals** in greater cities such as Zürich, Basle, Berne and Lausanne mainly due to thyroid treatments with iodine-131 are monitored by weekly measured continuous water samples from the outlet of the water cleaning plants. In these water samples and in additionally analyzed sludge samples, iodine-131 was frequently and tritium occasionally detectable. During two weeks at the end of January 1992 and at the beginning of February 1992, iodine-131 concentrations of 8 and 11 Bq/L were observed at the outlet of the Bernese water purification plant respectively. These values correspond to a weekly iodine-131 charge of 8 and 11 GBq respectively. The origin of this radionuclide is under investigation and control checks on the activity release balance of the Bernese University Hospital (Inselspital) treating patients with thyroid disorders are performed in collaboration with the licensing authority.

In all the mentioned cases this waste water is not used as drinking water, it is diluted by being finally conducted into the rivers Aare (Bernese area) and Doubs (region of La Chaux-de-Fonds) respectively. Therefore, it is rather unlikely that any person of the population accumulated an inadmissible radiation exposure. No further radioactivity concentration was detected in the vicinity of these plants being caused by radioactivity releases and it has to be underlined that the resulting radiation exposure of the population is well below the limits. For persons living near the two above mentioned tritium processing enterprises, measurements on urine samples performed in the passed years yielded radiation exposures of maximum 0.03 mSv/year.

7. Assessment of the Monitoring Programme

The measurement programme and its outcoming results show that the three main targets as mentioned previously in paragraph 2 are achieved.

Globally distributed long lived **artificial environmental radioactivity** in air (aerosols and gases), rain, water (radioactivity balances of the rivers) and soil (follow up of atomic bomb and Chernobyl fall-out) shows actually very low values. They are often below detection limits requiring, therefore, an increased effort applying low level measurement techniques. However, in order to follow up trends in caesium-137, strontium-90, carbon-14, tritium and radioactive noble gases only a few sampling places but long sampling or measurement intervals are necessary. As far as tritium, a radionuclide processed in Swiss industries in great quantities, is concerned an environmental balance for rain and surface water would be useful.

Furthermore, from 1993 onwards, more effort will be put in analyzing alpha-emitters in environmental samples.

The **radon programme** investigates mainly regions with an increased radon risk. In addition, there are, firstly, studies done on origin and on transport processes of radon in the soil, secondly, improvement of mitigation techniques for homes with increased radon levels and, thirdly, recommendations for the building trade on its way. Natural radionuclides in the environment and their contribution to external radiation exposure outdoors as well as indoors is the aim of a new BAG project started in 1992.

For the control of radioactivity in **food** the laboratory capacity increased in the passed years and covers now the whole country. Approximately 12 of the regional food control authorities are equipped with Germanium gamma ray spectrometers and are participating in sampling and measurements. In staple food artificial radioactivity is, apart from the Ticino region, generally not detectable. Even in mushroom and deer where still increased levels of radioactivity are found a weak decline is now observed. In 1993, the sampling programme was not altered but for 1994 a reduction of sample numbers may be kept in view. In 1993, analysis of natural radioactivity content of drinking waters is added to the programme.

The monitoring programme and the measuring techniques for the **vicinity of nuclear installations** agree with the state of the art. In 1993 the new automatic dose rate monitoring network MADUK for nuclear plant surroundings will start operating and is increasing the density and redundancy of this surveillance. In addition rain sampling devices will be installed also near the Mühleberg and Beznau plant. A special EAWAG project deals with measurements of liquid radioactivity releases from nuclear power stations in rivers and sediments.

The monitoring programme around **industrial plants and hospitals** dealing with radionuclides should possibly be accomplished by analysis of water and random sludge samples from additional water purification plants in order to determine iodine-131 releases derived from medical applications. The measurements in the nearby vicinity of tritium processing industries should at least be maintained; eventually additional surface and ground water samples should be collected at Niederwangen and La Chaux-de-Fonds and a continuous water sampling device should be installed at the Aare river downstream Berne to establish a tritium balance for this region.

8. Scientific exchange with foreign authorities and institutions

Monitoring programmes and measuring techniques in Switzerland are similar to those of our neighbouring countries and are guided by recommendations of international scientific bodies. In this matter and in all questions about radiation doses and risks, Swiss authorities keep international scientific contacts through bilateral scientific committees with neighbouring countries and radiation protection associations. In order to promote interfrontier co-operation a Joint Meeting on **ENVIRONMENTAL IMPACT OF NUCLEAR INSTALLATIONS** was organised in September 1992 at the University of Fribourg together with the German-Swiss **Fachverband für Strahlenschutz** and the **French Radiation Protection Society**. Some 300 scientists from France, Germany, Switzerland and further countries participated at this congress, whose main topics were 1) Radioactivity release monitoring, 2) Environmental dispersion modelling, 3) Environmental Monitoring, 4) Accident Management. The meeting

presented a useful overview on current activities and concern about radioactivity releases from operating nuclear facilities in Germany, France and Switzerland as well as on structure and organisation of the emergency planning for radiological accidents. The final panel discussion pointed out the importance of transfrontier co-operation in harmonising monitoring programmes, assessment of radiation risks and for emergency planning. Further effort is needed in public information on radioactivity and its risks, but also for the professional improvement and recruitment in radiation protection. The results of this meeting are published in English in a special volume of RADIOPROTECTION [6].

9. Principal Contributions to the Radiation Exposure of the Population

In the following section the 1992 average values of the contributions to the radiation exposure of the population are presented. The figures are similar to those from the previous years.

Radon and daughter products mainly inside of dwellings are the most important of the natural contributors giving an arithmetic mean value of 2.2 mSv/year; individual values between 0.3 and in some isolated cases up to 150 mSv/year were noticed.

Natural radioactivity in the ground and in building materials, i.e. potassium-40 as well as uranium and thorium with their daughter products lead to an average value of 0.45 mSv/year, taken into account the time spent inside buildings. The individual values are between about 0.2 and 1.5 mSv/year, depending on radionuclide content of soil and building materials.

The cosmic ray contribution increases with height above sea level and leads to an average value of 0.34 mSv/year for Switzerland. The individual values for all inhabited regions of the country are between 0.25 and 0.9 mSv/year.

Radionuclides in the human body contribute on average to some 0.38 mSv/year, whilst the individual values may vary between 0.2 and 0.5 mSv/year. The main part is due to potassium-40, yielding some 0.012 per cent of the natural potassium. It enters the body by food and is incorporated mainly in muscle tissue. The exposures from artificial radionuclides in food however, specially caesium-137 and strontium-90 are below 0.01 mSv/year.

Concerning radiation exposures from artificial sources the ones from medical applications, i.e. diagnostic by X ray and by radionuclides in nuclear medicine are largely preponderating and yield for X ray diagnostic according to earlier investigations on average about 1 mSv/year and for nuclear medicine about 0.04 mSv/year. The individual values for medical applications depend widely on frequency and type of investigation and may rise up to 30 mSv/year by X ray diagnostics or up to 80 mSv/year for nuclear medicine treatments.

Radioactive fall-out after the Chernobyl reactor accident causes actually in Switzerland only weak radiation exposure, especially by caesium-137 deposited onto the ground and entering the body by slightly contaminated food. The overall radiation exposure of the Swiss population due to the Chernobyl reactor accident averages to about half a mSv, most of it has already been accumulated until today. In 1992, the average contribution to external and internal radiation exposure was below 0.01 mSv.

Fall-out from atomic bomb tests in the fifties and sixties gives today rise to only small exposure, in 1992, on average well below 0.01 mSv.

Small radiation sources like radionuclides in various commercial products like watches with luminous dials, inhaled polonium-210 from cigarette smoke and increased radiation doses during flights cause an additional radiation exposure, however, difficult to be estimated. Subsonic flights in some 10 to 12 km height results in dose rates between 5 and 8 $\mu\text{Sv/h}$, giving the staff members an additional radiation exposure of between 2 and 3 mSv/year. All these sources together may contribute on average at most 0.1 mSv/year to the radiation exposure of the general population.

In 1992, radioactivity releases to the environment from nuclear installations even if considering the most unfavourable assumptions came up to a maximum radiation exposure of 0.015 mSv for the surrounding population.

Radioactivity in the environment from industrial plant and hospitals causes mostly no detectable radiation doses to the surrounding population. At some enterprises processing greater amount of radionuclides (tritium) measurements show doses to the nearby population of less than 0.03 mSv/year.

In 1992, the 57'823 radiation workers in nuclear installations, industries, trade, public administration, research and medicine have accumulated radiation exposures of 35 mSv/person at the maximum with an average value of 0.23 mSv/person. For 95.5 per cent of the radiation workers the exposure values were, however, below 1 mSv/year.

The total mean radiation exposure of the Swiss population amounts to some 4.6 mSv/year. Half of this amount originates from radon and its daughter products, one quarter from other natural radioactivity and an other quarter from medical applications and (artificial) radiation sources. The latter contribution is, without the medical part, below 0.2 mSv/year.

Using the new ICRP risk factors [1] an assessment of the radiation risk for the average radiation exposure to the public gives the following values, these figures, however, being only rough estimates with a considerable uncertainty. Natural radiation exposure excluding radon is about 1 mSv/year and may cause some 2 per cent of the annual cancer death in Switzerland. The amount originating from artificial sources without medical applications would be below 0.4 per cent. According to the BEIR-IV risk model [2], about one of seven lung cancer deaths in Switzerland could be attributable to radon in dwellings (2.2 mSv/year).

Genetic effects of radiation manifest themselves as severe hereditary defects like dominant or x-linked mutation on offspring. The mean natural external radiation exposure of 1 mSv/year (without radon) is equivalent to 30 mSv for one generation. It may be made responsible for about 1 to 6 per cent of the 10'000 children with a severe hereditary disorder occurring spontaneously in 1 Million neonates. The amount due to the artificial radiation exposure (without medical applications) would be some five times smaller.

10. Literature

- [1] *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Publication Nr. 60, Annals of the ICRP Vol. 21/1-3; Pergamon Press Oxford 1991. ISBN 0-08-041144-4 or ISSN 0146-6453.
- [2] *Health Risk of Radon and other internally deposited Alpha-Emitters*. BEIR-IV. National Academy Press Washington D.C. 1988. ISBN-0-309-03789-1 or 0-309-03797-2.
- [3] *Radon-Programm Schweiz "RAPROS": Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991*; BAG Bern März 1992; ISBN 3-905235-00-5
- [4] *Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz: Bericht für das Jahr 1991*. BAG Bern Oktober 1992. ISBN 3-905235-04-8
- [5] *Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters*. ICRP Publication 50; Pergamon Press Oxford 1987. ISBN 0-08-035579-X or ISSN 0146-6463
- [6] *Environmental Impact of Nuclear Installations*. Radioprotection Special Issue 1993, Les Editions de Physique, Les Ulis/France 1993. ISBN 2-86883-182-6.

FIG. 1 : MEAN ANNUAL EFFECTIVE DOSE OF THE SWISS POPULATION IN MILLI-SIEVERT (1992)

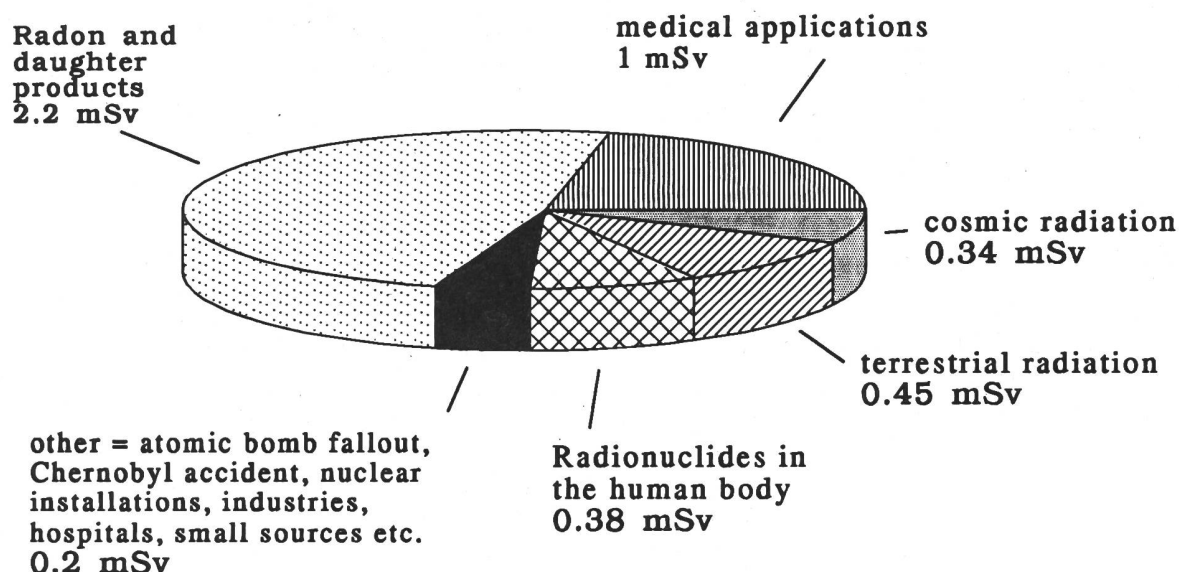


FIG. 2 : APPROXIMATIVE FREQUENCY DISTRIBUTION OF IRRADIATION DOSES IN SWITZERLAND

The data are weighted by the regional population distribution, based on results obtained until 1991; radon values are corrected according to house type, population distribution and summer / winter difference.

Special attention has to be made on the enormous variation domain of the radon doses (logarithmic scale !)

