

Zeitschrift: Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz = Radioactivite de l'environnement en Suisse = Radioattivita dell'ambiente in Svizzera

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheitswesen, Abteilung Strahlenschutz

Band: - (1991)

Rubrik: Zusammenfassung = Resumé = Riassunto

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: 01.05.2026

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

A. Z U S A M M E N F A S S U N G

A. R E S U M E

A. R I A S S U N T O

Umweltradioaktivität und
Strahlenexposition der Bevölkerung

Deutscher Text: Seite A.1

Radioactivité de l'environnement et
doses d'irradiation à la population

Texte français: page A.13

Radioattività dell'ambiente e
dosi d'irradiazione della popolazione

Testo italiano: pagina: A.26

A. ZUSAMMENFASSUNG

H. Völkle, Sektion Überwachung der Radioaktivität/BAG, Fribourg

Ueberblick

Der vorliegende Bericht gibt eine Zusammenfassung der Umwelt-radioaktivitätsmessungen im Jahr 1991 in der Schweiz, der sich daraus ergebenden Strahlendosen für die Bevölkerung sowie deren Interpretation. Er befasst sich mit der Radioaktivität in Luft, Niederschlägen, Gewässern, Boden, Gras, Lebensmitteln etc., mit der natürlichen Radioaktivität, der Strahlenexposition durch Radon im Hausinnern, den Auswirkungen von Radioaktivitätsabgaben aus Kernanlagen und andern Betrieben sowie weiteren Strahlenquellen. Kernkraftwerke und Betriebe, die über eine Bewilligung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen verfügen, haben 1991 die Limiten für Abgaben an die Umwelt eingehalten und die Messungen in der Umwelt ergaben mit einer Ausnahme keine unzulässigen Immissions- bzw. Dosiswerte.

1. Gesetzliche Regelungen

Gemäss Art. 107 der Strahlenschutzverordnung vom 30. Juni 1976 (eine neue ist in Bearbeitung) 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 milli-Sievert verursachen. Weiterhin gültig ist die vom Bundesrat nach dem Reaktorunfall Tschernobyl erlassene "Verordnung über Konzentrationen von radioaktiven Nukliden in Lebensmitteln" vom 8. September 1986, gemäss der die Konzentration der beiden Nuklide Caesium-134 und Caesium-137 zusammen folgendermassen limitiert wird: Milch, Rahm, Milchkonserven und Kindernährmittel (bezogen auf den verzehrsbereiten Zustand) mit mehr als 370 Bq/kg sowie übrige Nahrungsmittel mit mehr als 600 Bq/kg sind zu beanstanden und dürfen nicht frei in den Verkehr gebracht werden.

2. Grundlagen: Einheiten für Radioaktivität und Strahlung

Die Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung werden in der Einheit Becquerel (Bq) angegeben; 1 Bq = 1 radioaktiver Zerfall pro Sekunde. Die Präfixe milli-, micro- bzw. nano- bedeuten ein Tausendstel, ein Millionstel bzw. ein Milliardstel.

Für die Strahlendosen wird von der im Körpergewebe oder Organ absorbierten Strahlungsenergie ausgegangen, d.h. von der absorbierten Dosis gemessen in Gray (1 Gy = 1 Joule/kg). Durch Multiplikation mit dem Wichtungsfaktor für die betreffende Strahlenart (20 für Alphastrahlen; 5 - 20 für Neutronen; 1 für Beta-, Gamma- und Röntgenstrahlen) erhält man gemäss ICRP (Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission) die Aequivalentdosis für das betreffende Organ, angegeben in Sievert (Sv; meistens wird milli-Sievert verwendet: mSv; 1 mSv = 0.001 Sv). Die Gesamtbelastung, genannt effektive Dosis, ergibt sich durch Summation der entsprechend ihrer Strahlenempfindlichkeit gewichteten einzelnen Organdosen und wird eben-

falls in milli-Sievert angegeben. Die ICRP empfiehlt die folgenden Wichtungsfaktoren: 20% für die Gonaden; je 12% für Dickdarm, Lunge, rotes Knochenmark und Magen; je 5% für Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse und für die Summe von neun weiteren Organen; je 1% für die Knochenoberfläche und die Haut. Man erhält so eine Bewertungsgrösse, die die biologische Wirkung der Strahlung auf den ganzen Menschen angibt, und unabhängig ist von Art und Herkunft der Strahlung.

Im weiteren unterscheidet man zwischen externer Bestrahlung, wenn sich die Strahlenquelle ausserhalb des Körpers befindet und interner Bestrahlung, wenn Radioaktivität über Nahrung, Trinkwasser oder Atemluft in den Körper gelangt. Für die Ermittlung der externen Dosis wird von der in Luft gemessenen Ionendosis ausgegangen (früher in der Einheit Röntgen (R) angegeben). Meist wird die gerundete Umrechnung $1 \text{ R} = \text{ca. } 0.01 \text{ Sievert}$ (bzw. $1 \text{ micro-R/Std} = 10 \text{ nano-Sievert/Std}$) verwendet. Für die Umrechnung der gemessenen Ortsdosis in die Dosis einer Person, die sich an dieser Stelle aufhält, sind zusätzlich Energie und Einfallrichtung der Strahlung zu berücksichtigen. Dies führt zu einem Konversionsfaktor Ortsdosis-Personendosis von im Mittel 0.8; damit entspricht insgesamt eine gemessene Ortsdosis von 1 R einer Personendosis (effektive Dosis) von ca. 0.008 Sievert.

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

3. Schwerpunkte des Überwachungsprogrammes

Das Routinemessprogramm umfasst die folgenden Punkte:

- a. die externen Dosen durch kontinuierliche Überwachung der Ortsdosen und der Ortsdosisleistung.
- b. die Luft durch kontinuierliche Messung der Radioaktivität der Aerosole.
- c. die Ablagerung auf Boden und Bewuchs durch Untersuchung der Niederschläge sowie von Erdboden- und Grasproben.
- d. die Gewässer durch Untersuchungen von Oberflächen- und Grundwasser, Wasserpflanzen, Fischen, Sedimenten, Abwässer von Kläranlagen der grösseren Städte und Deponieentwässerungen.
- e. die Lebensmittel durch regelmässige Untersuchung von Milch, Getreide, Fleisch, Gemüse sowie durch Stichproben von weiteren Lebensmitteln wie Pilze, Wild und Importwaren.
- f. die Radioaktivität im menschlichen Körper durch Ganzkörpermessungen und Sr-90-Bestimmungen an Wirbelknochen und Milchzähnen.

- g. den Radon-Pegel in Wohnhäusern zur Ermittlung der Radon-Strahlenexposition.
- h. Spezialuntersuchungen wie etwa "In-Situ-Gammaspektrometrie" sowie die Bestimmung von Tritium in Niederschlägen, Krypton-85 und Argon-37 in der Luft, Kohlenstoff-14 in Baumblättern etc.
- i. Für die Nahumgebung der Kernkraftwerke werden zusammen mit der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen spezielle Überwachungsprogramme aufgestellt und durchgeführt, wobei auch die Kernkraftwerke an den Messungen beteiligt werden. Dabei wird den möglichen Abgaben der Werke und den lokalen Gegebenheiten (Meteorologie, Ausbreitung, Topographie, Bevölkerungsverteilung etc.) Rechnung getragen.
- k. Die Nahumgebung von Betrieben und Spitälern die radioaktive Stoffe verarbeiten durch entsprechende Messprogramme.

Die Messprogramme und Überwachungsverfahren werden laufend dem Stand von Wissenschaft und Technik angepasst. Die Fachleute der Laboratorien pflegen dazu Kontakte zu internationalen Organisationen sowie den Fachkollegen und Laboratorien unserer Nachbarländer und der Europäischen Gemeinschaft. Ein intensiver Erfahrungsaustausch besteht insbesondere mit der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der "Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Anlagen" (DSK), dem "Fachverband für Strahlenschutz" (FS) sowie mit Frankreich über die "Société Française de Radioprotection" (SFRP). Schweizerische Laboratorien nehmen auch regelmässig an internationalen Ringversuchen teil.

Im Rahmen der Erneuerung der Überwachungsnetze laufen Bestrebungen, gewisse Messgrössen vor Ort automatisch zu erfassen und die Daten über ein Netzwerk kontinuierlich an eine Zentrale zu übermitteln. Das erste automatische Überwachungsnetz in diesem Sinne ist das NADAM-System zur automatischen Registrierung der Ortsdosisleistung mit Geiger-Müller-Zählrohren an 58 Stationen in der Schweiz. Die Sonden werden automatisch alle 10 Minuten von der Zentrale bei der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt in Zürich abgefragt. Ein ähnliches Netz für die Erfassung der Ortsdosen an je 15 bis 20 Standorten in der Nahumgebung der Kernkraftwerke wird von der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen aufgebaut (Projekt MADUK). Schliesslich soll in Ergänzung zum NADAM auch die Überwachung der Radioaktivität der Aerosole der Luft in unserem Lande durch ein aus 10 Stationen bestehendes automatisches Messnetz mit Datenfernübertragung modernisiert werden (Projekt RADAIR). Die bestehenden Geräte zur Aerosolüberwachung (sog. Frühwarnposten) bedürfen einer Erneuerung. In vielen Europäischen Ländern bestehen ähnliche automatische Überwachungsnetze bzw. sind im Aufbau und ergänzen die internationalen Abkommen über eine rasche gegenseitige Benachrichtigung bei KKW-Unfällen. Diese automatischen Überwachungsnetze ermöglichen eine rasche Feststellung einer Erhöhung der Umweltradioaktivität; zusammen mit ergänzenden Messungen erlauben sie eine sofortige Beurteilung der Lage bei störfallbedingten Radioaktivitätsfreisetzungen und damit eine rasche Information und einen effizienten Schutz der Bevölkerung.

4. Radon und - Folgeprodukte

Radon im Wohnbereich gibt mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von 2.2 milli-Sievert/Jahr (Extremwerte bis 150 milli-Sievert/Jahr) den grössten Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung¹⁾. Radon, ein Zerfallsprodukt des im Boden vorhandenen natürlichen Radiums, kann sich im Hausinnern akkumulieren und seine Folgeprodukte führen nach Einatmen zu einer Lungenbestrahlung und damit zu einem möglicherweise erhöhten Lungenkrebsrisiko.

Ueber die bisherigen Erhebungen und Untersuchungen zum Thema Radon in der Schweiz ist im RAPROS-Bericht (Radon-Programm Schweiz "RAPROS": Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991; BAG, Bern, März 1992; ISBN 3-905235-00-5) sowie im BAG-Bericht zur Umweltradioaktivität für 1989-90 ausführlich berichtet worden. Im folgenden seien die wichtigsten Schlussfolgerungen und noch offenen Fragen im Zusammenhang mit Radon, wie sie im RAPROS-Bericht von Werner Zeller und Heinz Surbeck formuliert wurden, zusammengefasst:

Das vorliegende Datenmaterial lässt zuverlässige Aussagen über die Mittelwerte der Radonkonzentration in Häusern der verschiedenen Regionen unseres Landes zu. Es ergeben sich hohe regionale Unterschiede wobei vor allem das Bündner Oberland, die Bündner Südtäler, die Karstgebiete im westlichen Jura und einige Gemeinden im Kanton Tessin als Gebiete mit erhöhter Radon-Konzentration (Maximalwerte über 1000 Bq/m^3) zu bezeichnen sind. Im schweizerischen Mittelland und insbesondere den Agglomerationen Baden, Bern, Brugg, Frauenfeld, Freiburg, Lausanne, Luzern, Schaffhausen, St. Gallen, Winterthur, Zug und Zürich liegen die Mittelwerte unter 200 Bq/m^3 (Maximalwerte unter 1000 Bq/m^3). In diesen bisher genannten Gebieten und Regionen sind mindestens 1 Promill der Häuser in den Agglomerationen oder 1 Prozent der Häuser sonst untersucht worden. Für die Städte Aarau, Basel, Genf, Olten, Solothurn, sowie die Talsohle des Unterwallis sind zwar weniger als 1 Promill der Häuser gemessen worden, dennoch gehören diese Regionen oder Agglomerationen mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht zu Gebieten mit erhöhtem Radon-Risiko.

1) Verwendete Radon-Dosisumrechnung:

Eine im Hausinnern gemessene Radon-Gas-Konzentration von 1 Bq/m^3 entspricht (bei einem Gleichgewichtsfaktor von 0.4 und 75% Aufenthaltszeit im Haus) einer jährlichen, gleichgewichtsäquivalenten Radon-Exposition (=EEE) von $0.3 \text{ Bq/m}^3 \text{ EEE}$. Gemäss ICRP-50 wird ein Dosisfaktor von $0.09 \text{ mSv H}_{\text{eff}} \text{ pro Bq} \cdot \text{Jahr/m}^3 \text{ EEE}$ verwendet. Eine gemessene Radon-Gas-Konzentration von 1 Bq/m^3 entspricht somit einer jährlichen effektiven Dosis von 0.027 mSv . Die durchschnittliche Radon-Gas-Konzentration in schweizer Wohnhäusern beträgt, nach Korrektur bezüglich Haustyp, Bevölkerungsverteilung und Sommer-Winter-Unterschied etwa 66 Bq/m^3 und führt somit wenn noch je 10% für die Dosis durch das kurzlebige Radon-220 (Thoron) und für die Radon-Dosis im Freien dazugeschlagen werden, zu rund 2.2 mSv/Jahr .

Weitere Probleme sind, dass es in der Schweiz immer noch Regionen mit einem zu geringen Prozentsatz an untersuchten Häusern gibt, dass Radon-Prognosen für Neubauten zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch sehr schwierig sind, dass zum Langzeitverhalten der Radon-Konzentrationen noch keine Daten vorliegen und dass eine ausführliche Dokumentation zu den Radon-Sanierungsmöglichkeiten erst im Entwurf vorliegt und noch ausgebaut werden muss. Mit der Radon-Kammer im Paul-Scherrer-Institut (PSI) steht in der Schweiz zwar eine Kalibriermöglichkeit für Radon-Gas-Messungen zur Verfügung, eine entsprechende Einrichtung für die radiologisch relevanteren Radon-Folgeprodukte ist jedoch noch nicht vorhanden. Im weiteren ist die Quantifizierung des Radon-Lungenkrebs-Risikos noch mit grossen Unsicherheiten behaftet und Resultate von epidemiologischen Untersuchungen an der Bevölkerung im Bezug auf Radon in Wohnräumen liegen noch nicht vor.

In Zukunft geht es mit erster Priorität darum, Häuser mit hohen Pegeln zu finden und zu sanieren um die höchsten Dosen zu reduzieren. Dazu sind weitere gezielte Messkampagnen in denjenigen Regionen erforderlich, wo aufgrund bisheriger Erkenntnisse oder geologischer Hinweise mit erhöhten Konzentrationen zu rechnen ist. Im weiteren soll eine verfeinerte Auswertung der bisherigen Daten und Untersuchungen über den Einfluss der Geologie auf den Radon-Pegel vorgenommen werden. Um Sanierungen von Häusern mit hohen Pegeln erfolgreich weiterführen zu können ist die wissenschaftliche Beratung und die Öffentlichkeitsarbeit von grosser Bedeutung. Schliesslich ist auch die internationale Zusammenarbeit, insbesondere bei der Durchführung von epidemiologischen Studien und bei der Festlegung von Radon-Richtwerten unerlässlich.

5. Allgemeine Überwachung der Radioaktivität der Umwelt

Die allgemeine Überwachung hat zum Ziel, die grossräumig sich ausbreitende künstliche Radioaktivität, z.B. von früheren Kernwaffenversuchen oder vom Reaktorunfall Tschernobyl zu erfassen, wobei auch die natürlichen Radionuklide gemessen werden.

In **Niederschlägen und in der Luft** war die künstliche Aktivität auch 1991 sehr tief. Nur dank dem Einsatz von Hochvolumensammlern können die geringen Caesium-137-Aktivitäten in der Luft von 0.5 bis 7 (Freiburg) bzw. 4 bis 15 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (im Tessin) noch nachgewiesen werden. In den Niederschlägen lag die Caesiums-137-Aktivität immer unter 0.05 Bq/L, meist unter der Nachweisgrenze von 0.01 Bq/L. Der Tritiumgehalt in den Niederschlägen an durch Abgaben aus Betrieben unbeeinflussten Stationen liegt in den Monatsproben noch bei einigen Bq/L. Die an der Universität Bern durchgeführten Messungen der radioaktiven Edelgase Krypton-85 und Argon-37 in der Luft ergeben im Durchschnitt für das erstere 0.9 Bq/m^3 während die Werte des letzteren zwischen 0.8 und 3.4 mBq/m^3 schwanken. Ihr Beitrag zur Strahlendosis ist vernachlässigbar. Beim in der Luft vorhandenen Kohlenstoff-14 nimmt der künstliche, von den Atombombenversuchen stammenden Beitrag weiter ab und liegt noch bei etwa 13.7% des natürlichen Anteils. In der Nahumgebung der KKW ist auch ein geringer Anstieg des C-14-Gehaltes infolge der gasförmigen Abgaben dieser Anlagen feststellbar.

Beim Caesium-137 in den **Erd- und Grasproben** war 1991 gegenüber dem Vorjahr kein signifikanter Unterschied feststellbar. Die in den Bodenproben gemessenen regionalen Unterschiede bei den Caesium-137-Werten zeigen das schon 1986 festgestellte Muster des Tschernobyl-Ausfalles, d.h. sie sind im Tessin und in Teilen der Ostschweiz gegenüber der übrigen Schweiz immer noch erhöht. Nebst Caesium-137 und Caesium-134 und Spuren von Antimon-125 (Tessin) bzw. Cobalt-60 (Umgebung KKW Mühleberg) war nur noch Strontium-90 (fast ausschliesslich vom Atombombenausfall) als künstliches Nuklid nachweisbar.

Die Überwachung der **aquatischen Systeme** umfasst Oberflächen- und Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen, Sedimente, Kläranlagen und Deponieabwässer. In den regelmässig erhobenen Flusswasserproben waren (ausser Tritium) künstliche Radionuklide meist nicht nachweisbar. In den Sedimenten sind noch Caesium-Beiträge feststellbar, vorwiegend vom Reaktorunfall Tschernobyl, unterhalb der KKW auch Beiträge aus den flüssigen Abgaben dieser Betriebe sowie in Oberflächengewässern z.T. Tritium aus der Leuchtfarbenherstellung und -Anwendung; bei gewissen Proben zeigen die Tritium-Werte der letzten Jahre eine leicht steigende Tendenz. Eine Überschreitung von Richtwerten in öffentlich zugänglichen Oberflächengewässern wurde ausser den beiden in Abschnitt 7 erwähnten Ausnahmen nicht festgestellt.

Die Vor-Ort-Messung der einzelnen Komponenten der künstlichen und natürlichen Radioaktivität im Erdboden erfolgt routinemässig mit der **in-situ-Gammaspektrometrie**. An den 1991 untersuchten Orten ergaben sich Ortsdosen zwischen 0.7 und 1.9 milli-Sievert/Jahr; mit 0.6 bis 1.3 milli-Sievert überwiegt der natürliche Anteil. Der künstliche Anteil variiert zwischen 0.01 milli-Sievert/Jahr im Wallis und 0.9 milli-Sievert/Jahr im Tessin und stammt vor allem von Tschernobyl. Der Beitrag der früheren Kernwaffenversuche lag an allen Messstellen unter 0.06 milli-Sievert/Jahr. Andere signifikante künstliche Beiträge wurden keine festgestellt.

Für die automatische Überwachung der externen Strahlendosen steht das aus 58 Stationen bestehende **NADAM-Netz** zur Verfügung. Die Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich sammelt alle zehn Minuten die aktuellen Messwerte und kann einen Anstieg der Ortsdosisleistung sofort feststellen. Das Netz wurde 1991 um weitere zwei Stellen erweitert und umfasst nun 58 Stationen. Der Tschernobyl-Beitrag war bei gewissen Stationen 1991 (vor allem im Tessin) noch nachweisbar, nimmt aber allmählich ab. Die Störungen an der Station La Dôle durch das Flugsicherungsradar konnten durch Filter eliminiert werden.

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 Nachweisgrenze. Teilweise erhöhte Caesium-Werte als Folge des Tschernobyl-Unfalles ergaben sich immer noch in einzelnen Proben von importiertem Wildfleisch, bei gewissen einheimischen Wildpilzen, hauptsächlich Maronenröhrlinge und Zigeunerpilze, und bei importierten Pilzen (vor allem Pfifferlinge). Bei einheimischen Maronenröhrlingen und Zigeunerpilzen traten noch

vereinzelt Werte bis einige Tausend Bq/kg Frischgewicht auf. In Anbetracht der geringen Konsumraten dieser Lebensmittel sind die daraus resultierenden Strahlendosen klein. Das Caesium in den Lebensmitteln führte in der Schweiz 1991 im Mittel für Personen mit durchschnittlichen Ernährungsgewohnheiten zu einer Strahlenexposition von einigen Tausendstel milli-Sievert. Auch der regelmässige Konsum von handelsüblichen Mineralwässern mit geringem Gehalt an natürlichen Radionukliden führt zu höchstens einigen hundertstel mSv pro Jahr.

Strontium-90-Bestimmungen in Umwelt- und Lebensmittelproben sowie in menschlichen Wirbelknochen und Milchzähnen erfordern eine radiochemische Abtrennung und werden daher in spezialisierten Laboratorien durchgeführt. Dieses Nuklid verhält sich physiologisch ähnlich wie Calcium und wird beim Menschen daher vor allem in Knochen und Zähnen eingebaut. Die in der Schweiz durchgeführten Strontium-90-Messungen ergaben 1991 sehr tiefe Werte. Das mit der Nahrung aufgenommene Strontium-90 führt zu einer internen Strahlenexposition von weniger als 0.005 milli-Sievert/Jahr.

Als Endkontrolle der Radioaktivitätsüberwachung dienen **Ganzkörpermessungen**, bei denen der Caesium-Gehalt im menschlichen Körper in-vivo gemessen wird. Solche Messungen ermöglichen eine Kontrolle der aus der Nahrung berechneten Caesium-Aufnahme und damit eine Überprüfung der daraus abgeleiteten Strahlenexposition. Ganzkörpermessungen werden regelmässig am Paul-Scherrer-Institut (PSI) und dem Kantonsspital Genf durchgeführt. 1991 ergaben die Messungen an Mitarbeitern des PSI im Mittel Caesium-Werte von 120 Bq pro Person, was zu einer jährlichen Dosis von etwa 0.004 milli-Sievert führt. Die am Kantonsspital Genf jährlich durchgeführten Messungen an 17-19-jährigen Gymnasiasten aus Genf ergaben 1991 durchwegs Werte unter 50 Bq pro Person, entsprechend weniger als 0.002 milli-Sievert/Jahr.

6. Abgaben aus den Kernanlagen

Den Kernkraftwerken Beznau, Gösgen, Leibstadt, Mühleberg und dem Paul-Scherrer-Institut sind in ihren Betriebsbewilligungen Abgabelimiten vorgegeben, die so festgelegt sind, dass die Jahresdosis für Personen der Umgebungsbevölkerung nicht mehr als 0.2 milli-Sievert/Jahr beträgt. Die Betriebe sind auch 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 1991 unter 0.02 milli-Sievert beim KKW Mühleberg bzw. unter 0.01 milli-Sievert bei den Anlagen Beznau, Gösgen und Leibstadt. Bei den drei letzteren kommt dabei anteilmässig der grösste Beitrag von den Kohlenstoff-14-Abgaben. Beim PSI-West entstehen durch Neutronenstreuung in der Nahumgebung Personendosen bis 0.03 milli-Sievert/Jahr (berechnet unter konservativen Annahmen).

Die **Überwachung der Umgebung** der Kernanlagen erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) und dem Bundesamt für Gesundheitswesen (BAG/SUER). Die Messprogramme und Methoden entsprechen dem internationalen Standard und umfassen, nebst den Ortsdosen an zahlreichen Stellen in der Umgebung, die Radioaktivität in Boden, Gras, Getreide, Milch und weiteren landwirtschaftlichen Produkten, aber auch Fluss- und Grundwasser, sowie Fische, Wasserpflanzen und Sedimente. Zusätzlich werden in-situ-Messungen mit tragbarem Germanium-Detektor, Aeroradiometrie-Flüge und weitere Messfahrten durchgeführt.

Die im Berichtsjahr in der Umgebung der Kernanlagen durchgeführten Messungen der Radioaktivität ergaben keine über den Richtwerten liegende Konzentrationen oder Dosiswerte. Bei der Direktstrahlung in Nahbereich von Siedewasserreaktoren, in Sedimenten und Wasserpflanzen in den Flüssen unterhalb der Werke sowie beim Kohlenstoff-14-Gehalt in Baumblättern sind, wenn meist auch nur geringe, Einflüsse der Werke nachweisbar. Die Auswirkungen auf die Strahlenexposition der Bevölkerung sind jedoch unbedeutend.

7. Abgaben aus Industrien und Spitälern

Betriebe, die mit radioaktiven Stoffen umgehen, brauchen eine Bewilligung. Kontrolliert werden diese Betriebe vom Bundesamt für Gesundheitswesen (Medizin, Forschung und Lehre) bzw. von der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt SUVA (Industrie, Handel, Gewerbe, analytische Labors sowie entsprechende Betriebe und Stellen der öffentlichen Verwaltung). Die Kontrollinstanz kann eine Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe verlangen sowie eine entsprechende Umgebungsüberwachung (Niederschläge, Oberflächengewässer, Quellen etc.) bei Betrieben, die grössere Mengen verarbeiten. Dies trifft zu für die Firmen Radium-Chemie in Teufen/AR und MB-Microtec in Niederrangen/BE, die Tritium-Leuchtfarbe herstellen sowie bei der Stadt La Chaux-de-Fonds, wo diese Leuchtfarbe in der Uhrenindustrie verarbeitet wird. Die Abgaben aus den Spitälern der grösseren Städte - im wesentlichen handelt es sich um bei Schilddrüsenbehandlung verwendetes Jod-131 - werden durch regelmässige Sammelproben aus den Kläranlagen überwacht.

Die Industriebetriebe, die zuhanden der SUVA eine Abgabebilanz erstellen müssen haben die in den Bewilligungen festgelegten Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt eingehalten. Radioaktivitätsmessungen in der Umgebung der überwachten Betriebe sowie am Ausfluss der Kläranlagen der Städte Zürich, Basel, Bern und Lausanne lassen Tritium und bei den Kläranlagen z.T. Jod-131 nachweisen: Der Richtwert ($C_w/300$ gemäss Art. 107 der SSV0) für öffentlich zugängliche Gewässer (Vorfluter) wurde 1991 in einem Fall überschritten und in einem zweite gerade erreicht: Im April lag der Tritiumgehalt im Abwasser der ARA La Chaux-de-Fonds um einen Faktor zwei über dem Richtwert und im selben Monat erreichte die Konzentration an Jod-131 am Ausfluss der ARA Bern gerade den Richtwert. Im ersten Fall handelt es sich vermutlich um Tritium aus der Rauchgaswaschanlage der Kehrrechtverbrennungsanlage von La Chaux-de-Fonds und im zweiten Fall um Jod-131 das in den

Berner Spitälern für die Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen verwendet wird. In beiden Fällen wurden die zuständigen Behörden avisiert und führen Abklärungen durch. Da diese Wässer nicht getrunken werden und in beiden Fällen durch Einleiten in die Aare bzw. in den Doubs stark verdünnt werden, können unzulässige Strahlendosen bei der Bevölkerung mit grosse Sicherheit ausgeschlossen werden. Abgesehen von diesen beiden Ausnahmen wurden in der Umgebung der überwachten Betriebe keine unzulässigen Konzentrationen festgestellt und die aus den Abgaben dieser Betriebe resultierenden Strahlendosen bei der Bevölkerung sind unter den zulässigen Richtwerten. Bei den Anwohnern der beiden obgenannten Tritium-verarbeitenden Betriebe der Leuchtfarbenindustrie ergaben sich aus früheren Urinuntersuchungen Dosiswerte durch Tritium bis 0.03 milli-Sievert/Jahr.

8. Bewertung der Ergebnisse und Strahlendosen der Bevölkerung

Im Durchschnitt haben sich die einzelnen Komponenten der Strahlendosen der Bevölkerung gegenüber früherer Jahre (siehe BAG-Bericht zur Umweltradioaktivität für 1989-90) nicht wesentlich verändert.

Bei der **natürlichen Strahlenexposition** kommt der grösste Beitrag vom **Radon und seinen Folgeprodukten**, hauptsächlich im Hausinnern. Gemäss der bisherigen Erhebungen in Schweizer Wohnhäusern liegt der Wertebereich zwischen 0.3 und in vereinzelt Fällen bis 150 milli-Sievert/Jahr, mit einem gewichteten, arithmetischen Mittelwert von 2.2 milli-Sievert/Jahr. Die weiteren Radon-Untersuchungen in der Schweiz befassen sich mit den Gebieten mit erhöhtem Radon-Risiko und den Sanierungsmassnahmen bei Häusern mit hohen Radonkonzentrationen.

Die **natürliche Radioaktivität im Erdboden und in Baumaterialien** führt im Mittel zu etwa 0.45 milli-Sievert/Jahr, mit einem Wertebereich von je nach Radionuklidgehalt des Erdbodens bzw. der Baustoffe von 0.2 bis 1.5 milli-Sievert/Jahr. Dabei sind die Aufenthaltszeiten im Hausinnern, bzw. die Abschirmung durch die Hauswände berücksichtigt. Die Strahlung kommt von den natürlichen Uran-Radium- und Thorium-Zerfallsreihen und vom Kalium-40.

Der Beitrag der **kosmischen Strahlung** steigt mit zunehmender Höhe über Meer und ergibt im schweizerischen Durchschnitt etwa 0.34 milli-Sievert/Jahr, wobei die Werte je nach Höhe über Meer zwischen 0.25 und 0.9 milli-Sievert/Jahr liegen.

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

Bei den aus **künstlichen Quellen** stammenden Strahlendosen überwiegt der Anteil aus **medizinischen Anwendungen** von Strahlung (z.B. Röntgendiagnostik) und Radionukliden (z.B. Nuklearmedizin). Die Mittelwerte für die Bevölkerung liegen aufgrund früherer Erhebungen bei der Röntgendiagnose bei 1 milli-Sievert/Jahr und bei der Nuklearmedizin bei 0.01 milli-Sievert/Jahr. Die Strahlendosen im einzelnen hängen von Häufigkeit und Art der Untersuchungen ab, und dürften bis 30 milli-Sievert/Jahr (Röntgendiagnostik) bzw. bis 80 milli-Sievert/Jahr (Nuklearmedizin) betragen.

Die **Auswirkungen des Reaktorunfalles Tschernobyl** führen nur noch zu geringen Strahlendosen, hauptsächlich durch auf dem Boden abgelagertes, bzw. über die Nahrung aufgenommenes Cesium-137. Gesamthaft beträgt die Strahlendosis der Schweizer Bevölkerung durch Tschernobyl im Durchschnitt etwa ein halbes milli-Sievert. Davon sind bis Ende 1991 bereits etwa neun Zehntel akkumuliert. 1991 dürfte die durchschnittliche externe und interne Strahlendosis durch Tschernobyl unter je 0.01 milli-Sievert/Jahr gelegen haben.

Die Auswirkungen der **Kernwaffenversuche** der 50er- und 60er-Jahre sind heute kaum mehr messbar und führten 1991 im Mittel zu Strahlendosen unter 0.01 milli-Sievert/Jahr.

Kleinquellen (Anwendungen radioaktiver Stoffe in Gebrauchsgegenständen wie z.B. Uhren) sowie **Rauchen, Zivilluftfahrt etc.** führen zu weiteren Strahlendosen, die allerdings im Einzelnen nur schwer abzuschätzen sind. Die Summe dieser Beiträge dürfte im Durchschnitt der Bevölkerung allerdings 0.1 milli-Sievert/Jahr kaum übersteigen. Gemäss einer kürzlichen Untersuchung des "GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit" in München ist bei Flügen in einer Höhe von 10 bzw. 11.7 km Höhe mit einer Dosisleistung von 0.005 bzw. 0.008 milli-Sievert/Stunde zu rechnen. Für Linienpiloten wurde im genannten Bericht eine zusätzliche jährliche Strahlenexposition durch die kosmische Strahlung von 2 bis 3 milli-Sievert errechnet.

Die aus den **Abgaben der Kernkraftwerke** berechneten Strahlendosen der Bevölkerung in der Nahumgebung betragen, auch bei Annahme ungünstiger Voraussetzungen bezüglich Aufenthalt im Freien und Lebensmittelverzehr, höchstens 0.02 milli-Sievert/Jahr. Beim PSI-West entstehen in der Nahumgebung durch Neutronen-Streustrahlung Personendosen bis 0.03 milli-Sievert/Jahr (berechnet unter konservativen Annahmen).

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 milli-Sievert/Jahr.

Die **beruflich strahlenexponierten Personen** in Kernkraftwerken, Industrien, Handel, öffentliche Dienste, Forschung und Medizin (zusammen rund 57'000) erhielten 1991 Ganzkörperdosen bis maximal 40 milli-Sievert/Jahr; bei 95 % lagen die Werte jedoch unter 1 milli-Sievert/Jahr. Die durchschnittliche Personendosis lag bei 0.23 milli-Sievert/Jahr.

Von der **gesamten durchschnittlichen Strahlenexposition** der Schweizer Bevölkerung von rund 4.6 milli-Sievert/Jahr stammt etwa die Hälfte vom Radon und seinen Folgeprodukten im Hausinnern, ein Viertel von der übrigen natürlichen Bestrahlung und etwa ein Viertel von der Medizin und weiteren künstlichen Quellen. Der künstliche Beitrag ohne die Medizin liegt dabei unter 0.2 milli-Sievert/Jahr.

9. Verdankungen

Die Angaben in diesem Bericht basieren auf den Messungen und Arbeiten der am Anfang des Heftes aufgeführten Laboratorien und Stellen, denen ihre Mitarbeit bestens verdankt sei. Ausführlicher sind die einzelnen Themen im nachfolgenden Abschnitt B behandelt. Bestens gedankt sei auch Frau M. Gobet für die Schreibarbeiten und Herrn A. Gurtner für die graphischen Darstellungen.

Weitere Hinweise und Informationen zum Thema "Radioaktivität und Strahlenschutz" können der gleichnamigen Broschüre, herausgegeben 1991 vom Bundesamt für Gesundheitswesen, entnommen werden (siehe auch: RADON-Broschüre des BAG).

FIG. 1 : DURCHSCHNITTliche JÄHRLICHE EFFEKTIVE DOSIS DER SCHWEIZER BEVÖLKERUNG IN MILLI-SIEVERT (1991)

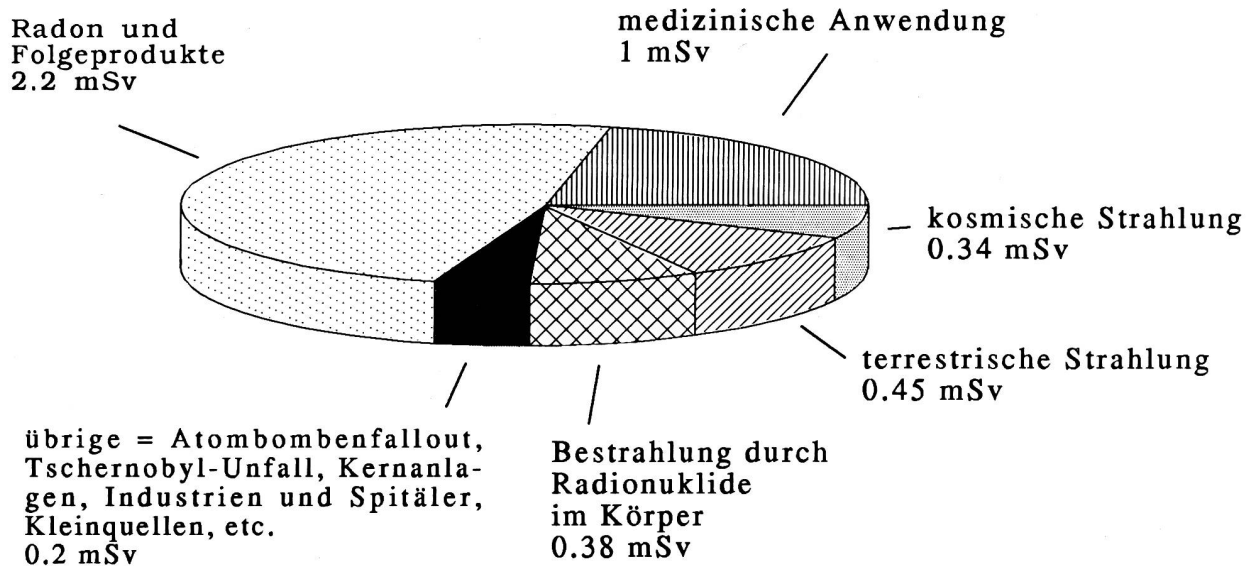
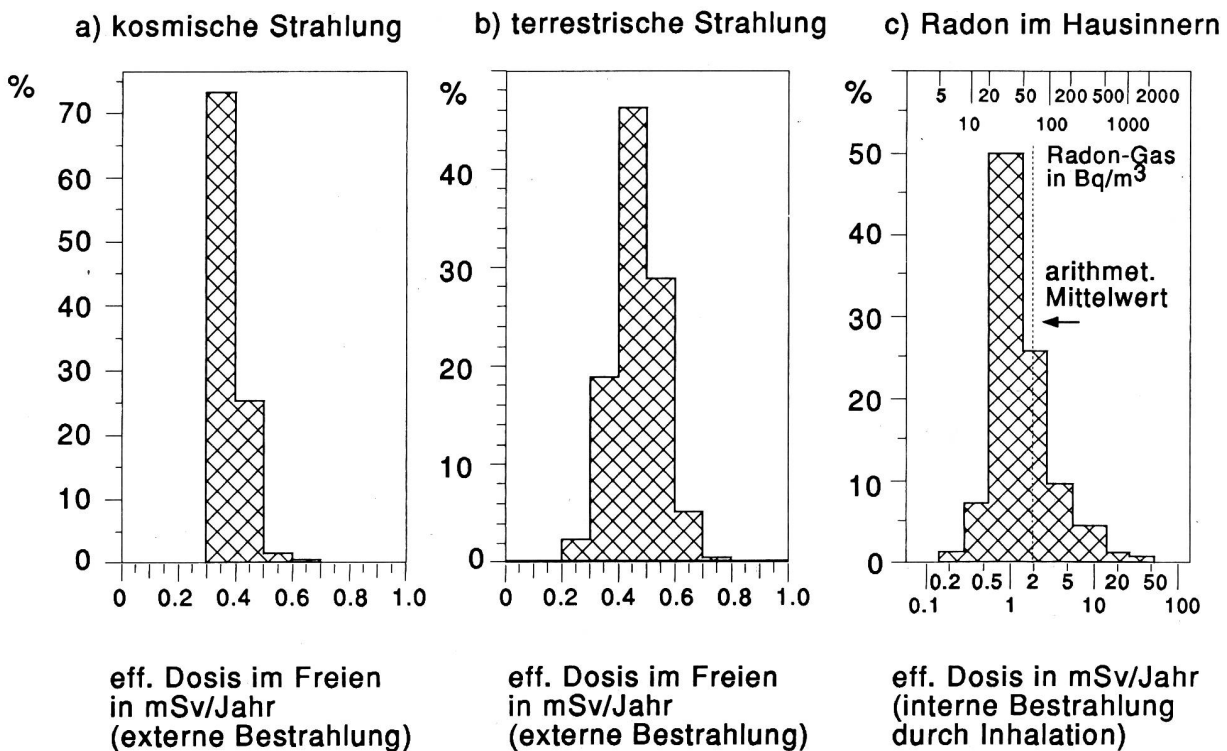


FIG. 2 : APPROXIMATIVE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER STRAHLENDOSIS IN DER SCHWEIZ

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. RESUME

H. Völkle, Section de surveillance de la radioactivité / OFSP, Fribourg

Aperçu

Ce rapport récapitule les mesures de radioactivité de l'environnement effectuées en Suisse pendant l'année 1991. Il présente les doses d'irradiation qui en résultent pour la population et en donne l'interprétation. Ce compte-rendu porte sur la radioactivité dans l'air, dans les précipitations, dans le milieu aquatique, dans le sol, l'herbe, les denrées alimentaires etc. Il traite également de la radioactivité naturelle, de l'exposition inhérente au radon dans les maisons, ainsi que des répercussions des rejets de radioactivité par les centrales nucléaires et autres industries ou sources additionnelles d'irradiation. Les centrales nucléaires et les entreprises industrielles, qui sont soumises à autorisations pour la manipulation des substances radioactives, ont respecté durant leur exercice d'exploitation 1991 les limites prescrites pour les rejets dans l'environnement. Les mesures dans leur environnement n'ont (à une exception près) mis en évidence aucune valeur inadmissible attribuable à leurs rejets respectivement aucune valeur non tolérable au niveau de la dose.

1. Législation

Selon l'article 107 de l'ordonnance concernant la protection contre les radiations du 30 juin 1976 (une nouvelle version est en cours d'élaboration), les substances radioactives évacuées dans l'environnement par des installations ne doivent pas provoquer en cas d'exposition continue une dose annuelle par inhalation et par l'eau potable supérieure à 0.5 mSv chacune. De plus, la limitation du Conseil fédéral à la suite de l'accident de Tchernobyl dans son "Ordonnance sur les concentrations des nucléides radioactifs dans les denrées alimentaires" du 8 septembre 1986 reste en vigueur. La somme des concentrations de césium-134 et de césium-137 y est limitée comme suit: sont à incriminer, lait, crème, laitages en conserve et aliments infantiles, qui rapporté à la matière prête à la consommation, excèdent 370 Bq/kg ainsi que pour les autres denrées alimentaires, celles qui dépassent 600 Bq/kg; leur libre circulation doit être interdite.

2. Généralités: unités pour la radioactivité et l'irradiation

Les résultats de la surveillance de la radioactivité sont exprimés en Becquerel (Bq); 1 Bq = 1 désintégration par seconde. Les préfixes milli-, micro, et nano signifient respectivement un millième, un millionème et un milliardième.

Les doses d'irradiation sont dérivées de l'énergie du rayonnement absorbée dans le tissu ou l'organe humain, c'est-à-dire de la dose absorbée mesurée en Gray (Gy = 1 joule/kg). La dose équivalente pour l'organe irradié s'obtient selon CIPR après

multiplication par le facteur de pondération spécifique du rayonnement (20 pour les émetteurs alpha; 5-20 pour les neutrons; 1 pour les rayonnements bêta, gamma et X) et s'exprime en Sievert (Sv). On utilise couramment le milli-Sievert: mSv (1 mSv = 0.001 Sv). L'irradiation globale, appelée dose effective, résulte de la sommation des doses aux différents organes pondérée selon leur radiosensibilité et s'exprime également en milli-Sievert. La CIPR recommande les facteurs de pondération suivants: 20% pour les gonades; pour le gros intestin, le poumon, la moelle osseuse rouge et l'estomac, 12% chacun; pour la vessie, le sein, le foie, l'oesophage, la thyroïde ainsi que pour la somme de neuf autres organes, 5% chacun; pour les surfaces osseuses et la peau, 1% chacun. On obtient ainsi une appréciation de l'effet biologique de l'irradiation sur le corps entier indépendamment du type et de l'origine de l'irradiation.

Il convient en outre de faire la distinction entre l'irradiation externe induite par des sources extérieures à l'organisme et l'irradiation interne, où la radioactivité atteint l'organisme par inhalation ou par ingestion d'eau potable et d'aliments. L'estimation de la dose externe se base sur la mesure de la dose ionique dans l'air, anciennement exprimée en Röntgen (R). La correspondance approximative $1 \text{ R} = 0.01 \text{ Sv}$ (resp. $1 \text{ micro-R/h} = 10 \text{ nano-Sv/h}$) est souvent utilisée. Pour convertir la dose ambiante mesurée en dose à l'individu, qui séjourne à l'endroit de mesure, il faut en outre tenir compte de l'énergie et de l'angle d'incidence de la radiation; il en résulte un facteur de conversion moyen voisin de 0.8; ainsi une dose ambiante de 1 R équivaut à une dose à l'individu (dose effective) d'environ 0.008 Sievert.

Dans la classification des doses d'irradiation, on distingue l'exposition naturelle (radioactivité terrestre, radiation cosmique et radioactivité du corps humain) et l'exposition artificielle (retombées des essais d'armes nucléaires et de Tchernobyl, rejets des centrales nucléaires, des industries, des hôpitaux, etc. ainsi que diverses exploitations des radiations et de la radioactivité dans le domaine médical et technique).

3. Points dominants du programme de surveillance

Le programme de surveillance de routine englobe les mesures suivantes:

- a. La dose externe par une surveillance permanente des doses et des débits de dose ambiants.
- b. La surveillance de l'air par la mesure en continu de la radioactivité des aérosols.
- c. La surveillance des dépôts sur le sol et les plantes au moyen d'analyses par échantillonnage dans les précipitations, les terres et les herbes.

- d. La surveillance du milieu aquatique par l'examen des eaux superficielles et souterraines, des plantes aquatiques, des poissons, des sédiments, des eaux usées des stations d'épuration auprès des grandes agglomérations et des drainages de dépotoirs.
- e. La surveillance des denrées alimentaires à partir d'analyses régulières dans les échantillons de lait, de froment, de viande, de légumes ainsi que d'autres aliments comme les champignons, le gibier et les marchandises importées.
- f. La radioactivité dans le corps humain basée sur des mesures du corps entier et sur les déterminations de strontium-90 dans le squelette et les dents de lait.
- g. Les mesures du niveau de radon dans les habitations afin de déterminer l'exposition qui en résulte.
- h. Les analyses particulières telles la spectrométrie gamma in situ, les déterminations du tritium dans les précipitations, du krypton-85 et de l'argon-37 dans l'air, du carbone-14 dans les feuillages etc.
- i. La surveillance spécifique au voisinage immédiat des centrales nucléaires en collaboration avec la division principale de la sécurité des installations nucléaires dont le programme prévoit également la participation des exploitants. Ce programme tient compte des rejets possibles et des paramètres locaux (météorologie, dispersion topographie, densité de population etc.).
- k. Les mesures ciblées dans le proche voisinage des entreprises et hôpitaux utilisant des substances radioactives.

Les programmes de mesure et les dispositifs de surveillance sont constamment adaptés aux progrès scientifiques et techniques. Les spécialistes des laboratoires impliqués bénéficient dans ce sens des contacts avec les organisations internationales ainsi qu'avec les spécialistes des laboratoires des pays voisins et de la Communauté européenne. Un échange soutenu d'expériences existe en particulier avec l'Allemagne dans le cadre de la "Commission germano-suisse pour la sécurité des installations nucléaires" (DSK), avec le "Fachverband für Strahlenschutz" (FS) et son homologue français la "Société Française de Radioprotection" (SFRP). Les laboratoires suisses participent aussi régulièrement à des intercomparaisons internationales.

Dans le souci de moderniser certains réseaux de surveillance, le recensement automatique de quelques valeurs de mesure locales est prévu avec une transmission permanente des données à une centrale. A ce sujet, le réseau NADAM, premier réseau automatique de surveillance dans notre pays, enregistre le débit de dose ambiante au moyen de compteurs Geiger-Müller, qui équipent 58 stations en Suisse. Ces sondes sont interrogées automatiquement toutes les 10 minutes par la centrale auprès de l'Institut suisse de météorologie à Zürich. Un réseau similaire et en cours de réalisation par la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (projet MADUK) pour

recenser les doses ambiantes dans 15 à 20 sites du voisinage immédiat de chaque centrale nucléaire. En complément des mesures automatiques de la dose ambiante, il est également prévu d'améliorer la surveillance de la radioactivité des aérosols de l'air dans notre pays par un réseau automatique de 10 stations avec télémesure (projet RADAIR). Les moniteurs actuels (postes de préalerte) doivent être rénovés. Dans bien des états européens, de tels réseaux automatiques de surveillance sont opérationnels ou en cours de réalisation et favorisent les conventions internationales pour une information mutuelle rapide en cas d'accidents auprès de centrales nucléaires. Ces réseaux automatiques de surveillance atmosphérique permettent une constatation rapide d'une augmentation de l'activité artificielle des aérosols de l'air, ce qui favorise l'engagement ciblé des mesures complémentaires indispensables à l'appréciation radiologique fiable d'une situation accidentelle dans des délais raisonnables. Il s'ensuit une information rapide et une protection efficace de la population.

4. Radon et descendants

Le radon dans les habitations avec une dose effective moyenne de l'ordre de 2.2 milli-Sievert/an (valeurs extrêmes jusqu'à 150 milli-Sievert/an constitue la contribution majeure à l'exposition de la population aux rayonnements¹⁾. Produit de désintégration du radium naturellement présent dans le sol, le gaz radon peut s'accumuler dans les maisons; ses descendants induisent par inhalation une irradiation du poumon et peuvent de ce fait accroître l'incidence du risque de cancer du poumon.

Les résultats récapitulatifs des enquêtes et des analyses réalisées jusqu'à présent sur le thème radon en Suisse peuvent être consultés pour une information détaillée dans le rapport RAPROS (programme radon suisse "RAPROS": rapport sur les résultats des années 1987-1991; OFSP, Berne mars 1992; ISBN 3-905235-00-5) ainsi que dans le rapport OFSP sur la radioac-

1) Conversion utilisée pour la dose radon:

Une concentration de gaz radon de 1 Bq/m^3 mesurée à l'intérieur d'une habitation correspond (pour un facteur d'équilibre de 0.4 et un séjour de 75%) à une exposition annuelle pour les descendants en équilibre avec le radon (=EEE) de $0.3 \text{ Bq/m}^3 \text{ EEE}$. Selon la CIPR-50 il convient d'utiliser un facteur de dose de $0.09 \text{ mSv } H_{\text{eff}} \text{ par } \text{Bq}\cdot\text{an/m}^3 \text{ EEE}$. Ainsi une teneur moyenne en gaz radon de 1 Bq/m^3 correspond à une dose effective annuelle de 0.027 mSv . La concentration moyenne de gaz radon dans les maisons suisses est voisine de 66 Bq/m^3 après correction tenant compte du type de maison, de la distribution de population et de la différence été-hiver. Cette concentration induit ainsi près de 2.2 mSv/an , si l'on y ajoute les contributions à la dose de 10% chacune du radon-220 (thoron) de courte période et du radon en plein-air.

tivité de l'environnement pour les années 1989-1990. Nous nous limitons donc à résumer ci-après les principales conclusions et questions en suspens liées au radon, selon leur énoncé par Werner Zeller et Heinz Surbeck dans le rapport RAPROS.

Les données à disposition permettent une indication fiable des valeurs moyennes de la concentration en radon dans les maisons des différentes régions de notre pays. D'importantes différences régionales sont apparues; on peut souligner comme régions à teneur accrue en radon (valeurs maximales supérieures à 1000 Bq/m^3), l'Oberland et les vallées du sud des Grisons, les zones karstiques de l'ouest du Jura ainsi que certaines communes dans le canton du Tessin. Sur le Plateau suisse et en particulier dans les agglomérations de Baden, Berne, Brugg, Frauenfeld, Fribourg, Lausanne, Lucerne, Schaffhouse, St. Gall, Winterthur, Zoug et Zürich les valeurs moyennes n'excèdent pas 200 Bq/m^3 (valeurs maximales inférieures à 1000 Bq/m^3). Dans les régions précitées, l'examen a porté sur au moins 1 pour-mille des maisons dans les agglomérations et 1 pour-cent des autres maisons. Concernant les villes de Aarau, Bâle, Genève, Olten, Soleure, ainsi que le fond de vallée du Bas-Valais, moins de 1 pour-mille des maisons ont été examinées; il est néanmoins fort probable que ces régions ou agglomérations n'appartiennent pas aux régions à risque radon accru.

Il subsiste encore certaines lacunes: ainsi, dans certaines régions suisses, le pourcentage des maisons examinées est encore trop faible; d'autre part, les pronostics-radon pour les nouvelles constructions restent actuellement difficiles à établir; de plus nous ne disposons pas de données sur le comportement à long terme des concentrations du radon; enfin, la documentation détaillée sur les possibilités d'assainissement n'en est qu'au stade de projet et nécessite encore d'être développée. La chambre-radon de l'Institut Paul Scherrer (PSI) constitue une possibilité de calibration pour les mesures du gaz radon; il n'existe cependant pas encore d'installation correspondante en Suisse pour la mesure des descendants du radon qui sont déterminants du point de vue radiologique. L'estimation du risque de cancer du poumon imputable au radon est en outre entachée d'importantes incertitudes et nous ne disposons guère actuellement de résultats concernant les études épidémiologiques sur la population en relation avec le radon dans les habitations.

L'objectif prioritaire pour l'avenir reste la recherche des maisons à teneurs en radon importantes ainsi que leur assainissement afin d'y réduire les doses. Des campagnes de mesures ciblées sont également requises dans ce but dans les régions où, soit les résultats à disposition, soit les indications géologiques laissent entrevoir des concentrations accrues. Il s'agit par ailleurs d'entreprendre une évaluation plus affinée des données et des enquêtes disponibles du point de vue de l'influence de la géologie sur les niveaux radon. Afin de réaliser avec succès l'assainissement des maisons présentant des teneurs en radon élevées, la réflexion scientifique et les relations publiques sont primordiales. Enfin la collaboration internationale s'avère indispensable, en particulier en ce qui concerne la réalisation des études épidémiologiques et l'établissement des valeurs directrices.

5. Surveillance générale de la radioactivité de l'environnement

Cette surveillance a pour objectif le recensement de la radioactivité artificielle disséminée à grande échelle, comme celle due aux essais nucléaires atmosphériques passés ou celle attribuable à l'accident au réacteur de Tchernobyl. Parallèlement, les radionucléides naturels sont également mesurés.

Dans les **précipitations comme dans l'air**, l'activité artificielle s'est révélée très faible en 1991. Seule l'exploitation des collecteurs à grand débit permet la détection des traces de césium-137 dans l'air de l'ordre de 0.5 à 7 micro-Bq/m³ à Fribourg respectivement 4 à 15 micro-Bq/m³ au Tessin. Dans les précipitations, l'activité césium-137 n'a jamais dépassé 0.05 Bq/l, restant le plus souvent même inférieure à la limite de détection de 0.01 Bq/l. La teneur en tritium des précipitations prélevées dans les stations non influencées par des rejets d'entreprises est de l'ordre de quelques Bq/l pour les échantillons mensuels. Les mesures des gaz rares radioactifs dans l'air, effectuées à l'Université de Berne ont donné en moyenne 0.9 Bq/m³ pour le krypton-85 alors que pour l'argon-37 les valeurs ont fluctué entre 0.8 et 3.4 mBq/m³. Leur contribution à la dose d'irradiation est négligeable. La proportion artificielle de carbone-14 présent dans l'air, provenant des anciens essais d'armes nucléaires, diminue progressivement et représente encore près de 13.7% de la part naturelle. Dans le voisinage immédiat des centrales nucléaires, une faible augmentation de la teneur en carbone-14 est détectable du fait des rejets gazeux de ces installations.

Concernant le césium-137 dans le **sol et l'herbe**, les résultats 1991 sont conformes aux mesures de l'année précédente. Les disparités régionales, déterminées pour les concentrations de césium-137 dans les échantillons de sol à la suite de la retombée de Tchernobyl, ont été confirmées. Ainsi les valeurs demeurent plus élevées au Tessin et dans les régions de l'est de la Suisse par rapport au reste du territoire. Outre le césium-137, le césium-134 et des traces d'antimoine-125 (Tessin), respectivement de cobalt-60 (voisinage de la CN Mühleberg), le strontium-90 reste le seul nucléide artificiel encore détectable; il provient essentiellement de la retombée des essais nucléaires passés.

La surveillance du **milieu aquatique** concerne les eaux superficielles et souterraines, leur écosystème (poissons, plantes aquatiques, plancton, sédiments) ainsi que les eaux usées des stations d'épuration et des dépôts. Hormis le tritium, aucun autre radionucléide artificiel n'a généralement été détectable en 1991 dans les échantillons prélevés régulièrement dans les rivières. Dans les sédiments, les contributions césium-137 restent mesurables avec une prédominance de la part Tchernobyl; en aval des centrales nucléaires on y mesure également des traces des rejets liquides de ces installations. Dans les eaux superficielles auprès d'entreprises fabriquant et traitant des peintures luminescentes, on décèle une contribution additionnelle tritium; dans certains échantillons, on observe ces dernières années une légère tendance à la hausse des concentrations de ce nucléide. Si l'on excepte les deux

stations d'épuration mentionnées au paragraphe 7, aucun dépassement des valeurs directrices dans les eaux superficielles d'accès public n'a été enregistré.

La mesure directe des composantes individuelles de la radioactivité naturelle et artificielle du sol s'effectue en routine à l'aide de la **spectrométrie gamma in situ**. Les doses ambiantes dans les sites examinés en 1991 s'échelonnent entre 0.7 et 1.9 milli-sievert/an; la part naturelle comprise entre 0.6 et 1.3 milli-sievert/an prédomine. La contribution artificielle varie d'environ 0.01 milli-sievert/an en Valais à 0.9 milli-sievert/an au Tessin; elle imcombe avant tout à Tchernobyl, la part des essais nucléaires passés n'excédant en aucun site de mesure 0.06 milli-sievert/an. Aucune contamination additionnelle notable du point de vue de la dose qui en résulte n'est à signaler.

La surveillance automatique de la dose ambiante repose sur le **réseau NADAM** dont les sondes équipent 58 stations. La centrale nationale d'alarme (CENAL) à Zurich recueille toutes les 10 minutes les valeurs courantes et peut constater immédiatement une augmentation du débit de dose ambiante. En 1991, 2 nouvelles sondes ont été installées ce qui porte à 58 le nombre de stations exploitées. La contribution Tchernobyl, qui décroît progressivement, est encore visible en 1991 dans certaines stations du Tessin en particulier. Les perturbations occasionnées par le radar de sécurité aérienne à la Dôle ont pu être éliminées grâce à un filtre approprié.

La surveillance de la radioactivité des **denrées alimentaires** s'opère en étroite collaboration avec les laboratoires cantonaux. Dans l'alimentation de base (lait, froment et viandes), la radioactivité artificielle induite par le césium-134, le césium-137 et le strontium-90 est minime et même le plus souvent inférieure aux limites de détection pour la production du nord des Alpes. Des concentrations accrues de césium subsistent dans certains échantillons de gibier et de champignons (chanterelles) importés ainsi que dans quelques champignons locaux, surtout les bolets bails et les pholiotes ridées, pour lesquels des valeurs parfois supérieures à quelques milliers de Bq/kg poids frais ont été mesurées. Si l'on considère le faible taux de consommation de ces aliments, les doses qui en résultent sont minimes. Il s'ensuit que le césium présent dans la nourriture n'a entraîné chez des personnes s'alimentant normalement qu'une exposition de quelques millièmes de milli-sievert en 1991. La consommation régulière des eaux minérales courantes dans notre pays n'entraîne, elle aussi, au maximum que quelques centièmes de mSv par an, du fait de leur contenu en radionucléides naturels.

La détermination du **strontium-90** dans l'environnement et dans les échantillons alimentaires ainsi que dans les vertèbres et les dents de lait d'êtres humains nécessite une séparation radiochimique effectuée dans des laboratoires spécialisés. Le comportement physiologique de ce nucléide s'apparente à celui du calcium, ce qui explique que le strontium est surtout assimilé dans les os et les dents. Les mesures 1991 qui s'y rapportent ont présenté des valeurs strontium très faibles. Le strontium-90 ingéré avec l'alimentation a entraîné en 1991 une exposition interne inférieure à 0.05 milli-sievert.

Ultime maillon de la surveillance, les **mesures du corps entier** servent à contrôler in vivo la teneur en césium dans le corps humain. Ces mesures permettent de vérifier les concentrations de césium calculées à partir de l'ingestion et de ce fait de l'exposition qui en résulte. Ces analyses sont effectuées régulièrement à l'Institut Paul-Scherrer (PSI) et à l'hôpital cantonal de Genève. Pour les collaborateurs du PSI examinés en 1991, la concentration moyenne de césium a été voisine de 120 Bq par personne, occasionnant une dose annuelle de l'ordre de 0.004 milli-sievert. Les analyses réalisées en 1991 à l'hôpital cantonal de Genève sur des collégiens de 17 à 19 ans ont indiqué sans exception des valeurs inférieures à 50 Bq par personne, correspondant à moins de 0.002 milli-sievert/an.

6. Rejets des installations nucléaires

Dans les autorisations d'exploitation des centrales nucléaires de Beznau, Gösgen, Leibstadt, Mühleberg et de l'Institut Paul-Scherrer, 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 milli-sievert/an. Les exploitants sont également tenus de contrôler en permanence leurs **rejets radioactifs** liquides et gazeux dans l'environnement 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 qui en résultent pour la population avoisinante. Les installations nucléaires ont respecté en 1991 les valeurs limites prescrites. L'exposition maximale de la population avoisinante n'a pas dépassé 0.02 milli-sievert auprès de la CN Mühleberg, resp. 0.01 milli-sievert auprès des centrales de Beznau, Gösgen et Leibstadt. Pour ces 3 dernières centrales, la contribution majeure en proportion provient des rejets de carbone-14. Concernant le PSI-Ouest, les doses aux personnes du voisinage immédiat, induites par la diffusion des neutrons, peuvent atteindre jusqu'à 0.03 milli-sievert/an selon des hypothèses pessimistes de calcul.

La **surveillance de l'environnement** des installations nucléaires s'opère en étroite collaboration entre la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN) et l'Office fédéral de la santé publique (OFSP/SUER). Le programme et les méthodes de mesure correspondent aux standards internationaux. Cette surveillance englobe les mesures des doses ambiantes en de nombreux sites, les analyses de la radioactivité du sol, de l'herbe, du froment, du lait et des autres produits agricoles ainsi que l'examen du milieu aquatique (eaux superficielles et souterraines) et de son écosystème (poissons, plantes aquatiques, planctons et sédiments). Ce contrôle est complété par les mesures de spectrométrie gamma in situ avec détecteur germanium portable et par les analyses de cartographie aéroradiométrique auxquelles s'ajoutent des parcours de mesures auxiliaires.

Les mesures de la radioactivité réalisées en 1991 dans le voisinage des installations nucléaires n'ont signalé aucune concentration ou valeur de la dose qui soit supérieure aux valeurs directrices. L'impact de l'exploitation des installa-

tions nucléaires sur l'environnement s'avère minime. Il reste néanmoins détectable du fait du rayonnement direct à proximité immédiate des réacteurs à eau bouillante ainsi que dans les sédiments et les plantes aquatiques prélevés en aval des centrales, de même qu'au niveau de la teneur en carbone-14 dans les feuillages. Du point de vue de l'exposition de la population aux rayonnements les répercussions sont très faibles.

7. Rejets des industries et des hôpitaux

Les entreprises qui manipulent des substances radioactives sont soumises à autorisation. Leur contrôle relève de l'Office fédéral de la santé publique (médecine, recherche et formation) respectivement de la Caisse nationale des assurances CNA (industrie, commerce, laboratoires analytiques, entreprises et postes correspondants de l'administration publique). L'instance de contrôle peut exiger un bilan des rejets ainsi qu'une surveillance de l'environnement appropriée (précipitations, eaux superficielles, sources etc.) auprès d'entreprises manipulant d'importantes quantités de substances radioactives. Il en est ainsi pour les fabriques de peintures luminescentes au tritium, Radium-Chemie à Teufen/AR et MB-Microtec à Niederwangen/BE ainsi qu'à la Chaux-de-Fonds où ces peintures sont utilisées dans l'industrie horlogère. Les stations d'épuration des grandes agglomérations font l'objet d'une surveillance régulière afin de contrôler les rejets des hôpitaux, plus spécialement au niveau de l'iode-131 d'utilisation courante lors des traitements de la glande thyroïde.

Les entreprises industrielles, qui doivent communiquer un bilan de leurs rejets à la CNA, ont respecté en 1991 les limites fixées dans les autorisations, concernant le rejet de substances radioactives dans l'environnement. Les mesures de radioactivité dans le voisinage des entreprises soumises à surveillance ainsi que dans l'écoulement des stations d'épuration des villes de Zurich, Bâle, Berne et Lausanne ont mis en évidence la présence de tritium et parfois d'iode-131 auprès des stations d'épuration: un cas de dépassement de la valeur directrice ($C_w/300$ selon Art. 107 de l'OPR) pour les eaux accessibles au public (effluent) a été enregistré en 1991: il s'agit de la teneur en tritium dans l'écoulement de la STEP de La-Chaux-de-Fonds, qui s'est située un facteur 2 au-dessus de la valeur directrice en avril 1991. Dans un second cas, la concentration en iode-131 mesurée dans l'écoulement de la STEP de Berne en avril 1991 a juste atteint la valeur directrice. Le premier cas concerne probablement l'installation de lavage des gaz de fumée de la station d'incinération de La-Chaux-de-Fonds alors que le second se rapporte à l'iode-131 utilisé dans les hôpitaux bernois pour le traitement des affections thyroïdiennes. Dans ces deux circonstances, les autorités compétentes ont été avisées et entreprennent de clarifier la situation. On peut exclure avec certitude des doses préjudiciables à la population, du fait que ces eaux ne sont pas consommées et qu'après déversement dans le Doubs respectivement dans l'Aar, elles sont fortement diluées. Hormis ces deux cas, aucune concentration inadmissible n'a été enregistrée en 1991 dans le voisinage des entreprises contrôlées. Les doses d'irradiation à la population, induites par leurs rejets, sont

restées inférieures aux valeurs autorisées. D'après les mesures tritium effectuées antérieurement dans l'urine des personnes résidant auprès des deux fabriques de peintures luminescentes tritium citées plus haut, les doses correspondantes vont jusqu'à 0.03 milli-sievert/an.

8. Appréciation des résultats et doses d'irradiation de la population

Les composantes individuelles des doses d'irradiation, auxquelles la population suisse est en moyenne soumise sont restées comparables en 1991 aux valeurs des années précédentes (voir rapport OFSP sur la radioactivité de l'environnement pour 1989-1990).

L'exposition au **rayonnement naturel** incombe principalement au **radon et à ses descendants** dans les habitations. D'après les enquêtes disponibles, les valeurs enregistrées s'échelonnent à partir de 0.3 milli-sievert/an et peuvent atteindre dans des cas isolés jusqu'à 150 milli-sievert/an. Il en résulte une moyenne arithmétique pondérée de 2.2 milli-sievert/an. Dans les sondages-radon à venir, il s'agit de cibler les régions à risque-radon accru et d'entreprendre des mesures d'assainissement pour des maisons où les concentrations de radon sont élevées.

La **radioactivité naturelle dans le sol et les matériaux de construction** occasionne une irradiation moyenne de l'ordre de 0.45 milli-sievert/an; selon la teneur en radionucléides du sol resp. des matériaux de construction, le domaine des valeurs s'étend de 0.2 à 1.5 milli-sievert/an, compte tenu de la durée de séjour à l'intérieur des maisons et de l'écran des éléments de construction. L'irradiation provient des séries de désintégration de l'uranium-radium et du thorium ainsi que du potassium-40.

La contribution de la composante ionisante du **rayonnement cosmique** croît avec l'altitude et sa moyenne en Suisse est voisine de 0.34 milli-sievert/an. Selon l'altitude, on peut estimer que les valeurs de la part cosmique en Suisse sont comprises entre 0.25 et 0.9 milli-sievert/an.

Les **radionucléides naturels assimilés dans le corps** induisent en moyenne 0.38 milli-sievert/an. La contribution majeure provient du potassium-40, dont l'abondance est de 0.12 pour-mille du potassium présent dans la nature. A travers l'alimentation, il est incorporé principalement dans le tissu musculaire. En comparaison, la dose due à l'assimilation de la radioactivité artificielle (surtout du césium-137 et du strontium-90) suite à l'ingestion d'aliments représente en 1991 environ 0.01 milli-sievert/an.

Parmi les doses **d'irradiation d'origine artificielle**, la part des **applications médicales** prédomine (diagnostics aux rayons X et radionucléides utilisés en médecine nucléaire). Sur la base des enquêtes antérieures, une dose moyenne pour la population de 1 milli-sievert/an peut être attribuée aux radiodiagnos-
tics

et de 0.01 milli-sievert/an à la médecine nucléaire. Les doses individuelles varient selon la fréquence et le type d'examen et pourraient atteindre jusqu'à 30 milli-sievert/an (radio-diagnostic) resp. jusqu'à 80 milli-sievert/an (médecine nucléaire).

Les répercussions de **l'accident au réacteur de Tchernobyl** sont minimales du point de vue de la dose en 1991. L'irradiation subsistante provient surtout du césium-137 déposé sur le sol (exposition externe) resp. présent dans les aliments (exposition interne). En moyenne, l'impact global de Tchernobyl sur la population suisse est voisin d'un demi milli-sievert. Pratiquement neuf dixième de cette dose ont déjà été accumulés jusqu'en fin 1991. On peut estimer que les doses moyennes externe et interne imputables à Tchernobyl en 1991 devraient être inférieures à 0.01 milli-sievert/an chacune.

L'incidence des **essais nucléaires** atmosphériques des années 50 et 60 n'est pratiquement plus décelable et les doses qui en résultent en 1991 sont en moyenne inférieures à 0.01 milli-sievert/an.

Les **faibles sources**, comme celles utilisées dans les biens de consommation (p.ex. les montres), **le tabac**, **les vols de ligne** etc. entraînent une irradiation additionnelle individuelle, difficile à estimer. La somme de ces contributions ne devraient néanmoins guère dépasser en moyenne pour la population 0.1 milli-sievert/an. Selon une récente enquête de "GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit" à München, on peut escompter un débit de dose voisin de 0.005 resp. 0.008 milli-sievert/heure lors d'un vol à une altitude de 10 resp. 11.7 km. D'après ce rapport, le calcul de la dose additionnelle annuelle à laquelle les pilotes de lignes sont soumis du fait du rayonnement cosmique donne 2 à 3 milli-sievert.

Les doses d'irradiation calculées à partir des **rejets des centrales nucléaires** pour leur population avoisinante n'excèdent pas 0.02 milli-sievert/an, même en admettant des hypothèses pessimistes quant au séjour en plein air et à la consommation alimentaire. Dans le voisinage immédiat du PSI-Ouest, le calcul basé sur des hypothèses défavorables indique des doses individuelles jusqu'à 0.03 milli-sievert/an du fait de la diffusion du rayonnement neutronique.

Les **rejets des industries et des hôpitaux** occasionnent chez les habitants de leur voisinage proche des doses pour la plupart non mesurables. Là où des influences ont été constatées dans l'environnement, des mesures antérieures ont montré que la dose de la population avoisinante peut atteindre jusqu'à 0.03 milli-sievert/an.

Les **personnes professionnellement exposées aux radiations** dans les centrales nucléaires, les industries, le commerce, les services publics, la recherche et la médecine (soit approximativement 57'000 personnes) ont reçu en 1991 des doses au corps entier jusqu'à 40 milli-sievert/an au maximum; pour 95% d'entre eux les valeurs n'ont cependant pas dépassé 1 milli-sievert/an. La dose individuelle moyenne a été voisine de 0.23 milli-sievert/an.

Sur près de 4.6 milli-sievert/an que constitue l'**exposition globale moyenne de la population suisse**, la moitié environ provient du radon et de ses descendants dans les maisons, près d'un quart des autres sources naturelles d'irradiation et le quart restant de la médecine et autres sources artificielles. La contribution artificielle sans la médecine est inférieure à 0.2 milli-sievert/an.

9. Remerciements

Les données de ce compte rendu se basent sur les mesures et les travaux des laboratoires et institutions mentionnés au début du rapport. Qu'ils trouvent ici tous nos remerciements! La présentation détaillée des différents thèmes fait l'objet du chapitre B qui suit. Nous remercions spécialement Madame M. Gobet pour la dactylographie et Monsieur A. Gurtner pour les représentations graphiques.

Des renseignements et informations auxiliaires figurent dans la brochure intitulée "Radioactivité et Radioprotection" publiée en 1991 par l'Office fédéral de la santé publique.

(Traduction française: Dr. Ch. Murith, SUER)

FIG. 1 : DOSE EFFECTIVE ANNUELLE MOYENNE DE LA POPULATION SUISSE EN MILLI-SIEVERT (1991)

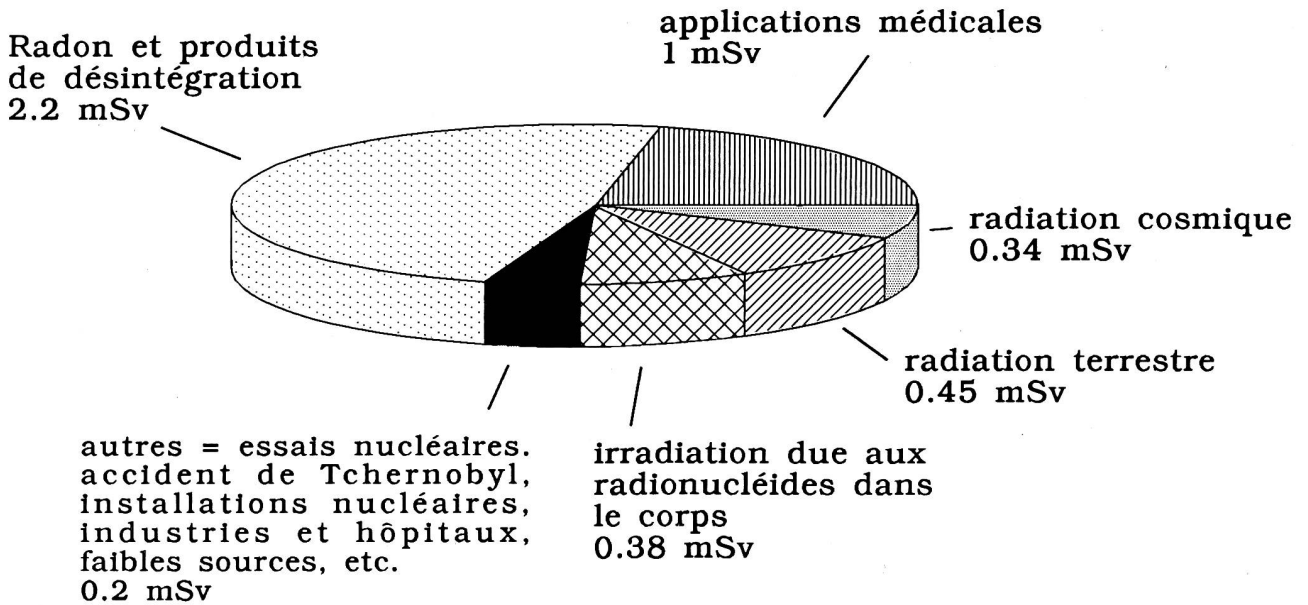
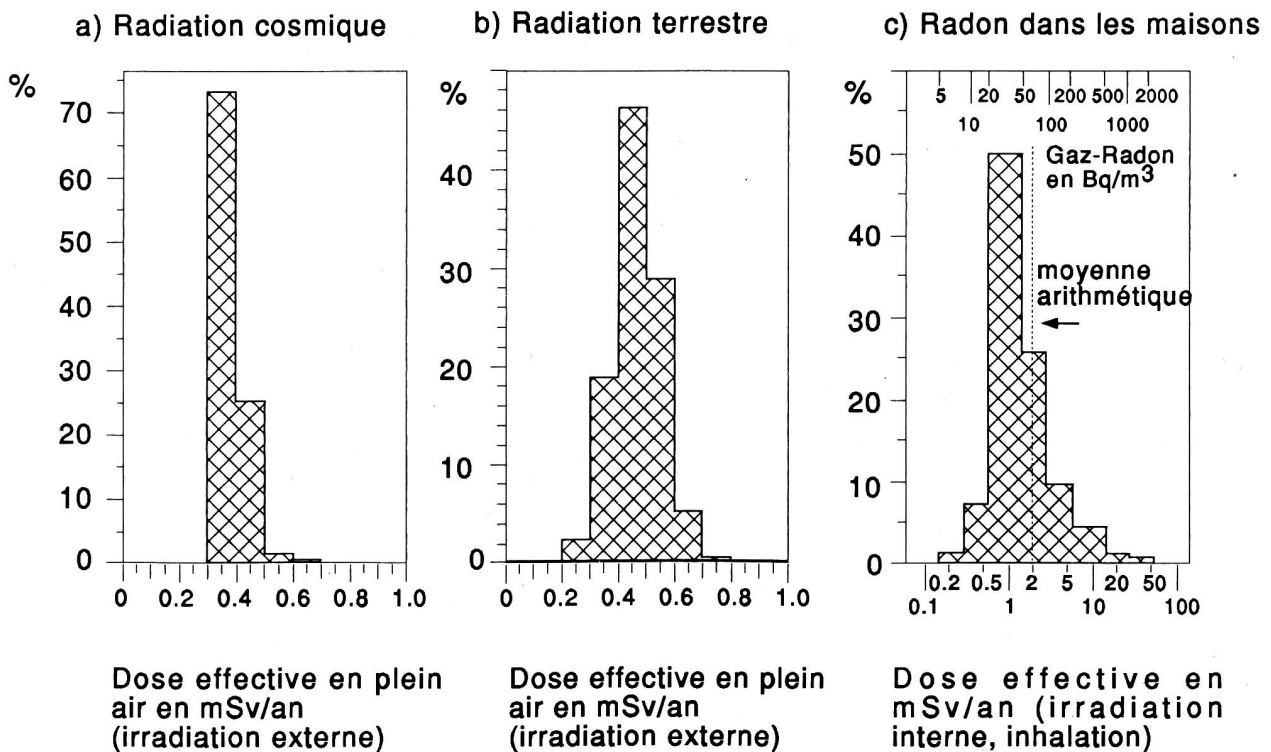


FIG. 2 : APPROXIMATION DE LA DISTRIBUTION DES DOSES D'IRRADIATION EN SUISSE

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. RIASSUNTO

H. Völkle, Sezione controllo della radioattività dell'UFSP, Friburgo

Sommario

Il presente rapporto riassume gli esiti delle misure della radioattività ambientale svolte in Svizzera nel 1991, delle dosi d'irradiazione che se ne deducono per la popolazione e dell'interpretazione di questi dati. Tratta della radioattività presente nell'aria, nelle precipitazioni, nelle acque, nel suolo, nell'erba, nelle derrate alimentari, ecc; della radioattività naturale, dell'esposizione a quella del radon all'interno delle case, degli effetti di emanazioni radioattive da impianti nucleari e altre aziende e di altre fonti radioattive. Le centrali e gli impianti nucleari autorizzati a servirsi di sostanze radioattive hanno osservato nel 1991 i limiti posti all'evacuazione nell'ambiente; dalle misure ambientali non sono risultate salvo una sola eccezione immissioni o dosi superiori a quelle ammesse.

1. Regolamentazione legale

Conformemente all'art. 107 dell'Ordinanza sulla radioprotezione del 30 giugno 1976 (una nuova ordinanza è in fase d'elaborazione), 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 annuali superiori a 0,5 millisievert ognuna. E' tuttora in vigore anche l'Ordinanza sulla concentrazione di nuclidi radioattivi nelle derrate alimentari, emanata dal Consiglio federale dopo l'incidente nel reattore di Cernobil, che limita la concentrazione globale dei due nuclidi cesio-134 e cesio-137: latte, panna, conserve di latte e alimenti per bambini con una concentrazione superiore a 370 Bq/kg allo stato pronto per il consumo, nonché le altre derrate alimentari con una concentrazione di oltre 600 Bq/kg non sono ammessi alla libera circolazione.

2. Unità di misura della radioattività e delle radiazioni

Gli esiti della sorveglianza della radioattività sono indicati in becquerel (Bq); 1 Bq = 1 disintegrazione radioattiva al secondo. I prefissi milli-, micro- e nano- significano un millesimo, un milionesimo e un miliardesimo dell'unità.

Il calcolo della dose d'irradiazione si fonda sull'energia di radiazione assorbita dal tessuto o dall'organo, ossia sulla dose assorbita, misurata in gray (1 Gy = 1 J/kg). Moltiplicandola per il fattore di ponderazione applicabile al tipo di radiazione in questione (20 per i raggi alfa, 5-20 per i neutroni, 1 per i raggi beta, gamma e röntgen) si ottiene, secondo l'ICRP (Commissione Internazionale della Radioprotezione), l'equivalente di dose dell'organo di cui si tratta, indicato in sievert (Sv; generalmente si adopera il millisievert, mSv;

1 mSv = 0,001 Sv). L'irradiazione totale, detta equivalente effettivo di dose, risulta dalla somma delle dosi dei singoli organi ponderate secondo la sensibilità di questi ultimi all'irradiazione e si esprime anch'essa in millisievert. L'ICRP raccomanda i seguenti fattori di ponderazione; 20% per le gonadi, 12% per l'intestino crasso, per i polmoni, per il midollo rosso delle ossa e per lo stomaco; 5% per la vescica, per il petto, per il fegato, per l'esofago, per la tiroide e per la somma di 9 altri organi; 1% per la superficie delle ossa o per la pelle. Si ottiene così una valutazione dell'effetto biologico della radiazione sull'intero organismo umano indipendente dal tipo e dalla provenienza di quest'ultima.

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. Per determinare la dose esterna si parte dalla dose ionica misurata nell'aria, che una volta si indicava in Röntgen (R). Solitamente si applica la conversione approssimativa $1 R = \text{ca. } 0,01 \text{ Sv}$ (rispettivamente $1 \text{ microR/ora} = 10 \text{ nanoSv/ora}$). Per passare dalla dose ambiente misurata alla dose individuale di una persona che si trova in quel luogo, bisogna considerare inoltre l'energia e l'angolo d'incidenza della radiazione. Se ne deduce un fattore medio di conversione dalla dose ambiente alla dose individuale di 0,8; una dose ambiente misurata di 1 R corrisponde dunque a una dose individuale (equivalente effettivo di dose) di ca. 0,008 Sv.

Secondo la provenienza delle dosi d'irradiazione si parla di esposizione alla radiazione naturale (radioattività terrestre, radioattività cosmica e radioattività nell'organismo umano) o artificiale (ricadute delle armi nucleari e di Cernobil, emanazioni degli impianti nucleari, dell'industria, degli ospedali, ecc, nonché altre applicazioni mediche e tecniche di radiazioni e radioattività).

3. Elementi centrali del programma di sorveglianza

Il programma usuale di misura include:

- a le dosi esterne, con la sorveglianza continua delle dosi ambiente e della loro intensità;
- b l'aria, con la misura continua della radioattività degli aerosoli;
- c i sedimenti depositatisi sul suolo e sulla vegetazione, con l'analisi delle precipitazioni e di campioni di suolo e d'erba;
- d l'acqua, con l'analisi delle acque di superficie e della falda freatica, delle piante acquatiche, dei pesci, dei sedimenti e degli scoli delle discariche;
- e i prodotti alimentari, con controlli regolari del latte, dei cereali, della carne e degli ortaggi e con esami spora-

- dici di altri alimenti come funghi, selvaggina e merce importata;
- f la radioattività nel corpo umano, con misure dell'intero organismo e con la determinazione dello stronzio-90 nelle vertebre e nei denti di latte;
 - g la concentrazione del radon negli edifici abitati, osservata per determinare l'esposizione alla radiazione proveniente dal radon;
 - h studi speciali, come ad esempio la spettroscopia gamma "in situ" o la determinazione del tritio nelle precipitazioni, del cripton-85 e dell'argon-37 nell'aria, del carbonio-14 nelle foglie degli alberi, ecc.;
 - i programmi di sorveglianza speciali per la zona circostante le centrali nucleari, stabiliti e svolti in cooperazione con la Divisione principale della sicurezza degli impianti nucleari, alle cui misure partecipano anche le centrali stesse. Si tiene conto delle evacuazioni possibili e delle circostanze locali (meteorologia, dimensioni, topografia, ripartizione della popolazione, ecc.);
 - k le immediate vicinanze di aziende ed ospedali che lavorano con sostanze radioattive, per mezzo di programmi di misura corrispondenti.

I programmi di misura e i procedimenti di sorveglianza sono continuamente adeguati allo stato attuale della scienza e della tecnica. A tal scopo, gli specialisti nei laboratori si mantengono in contatto con organizzazioni internazionali e con colleghi e laboratori dei Paesi vicini e delle Comunità europee. Un intenso scambio d'esperienze ha luogo in particolare con la Repubblica federale di Germania, nel quadro della commissione comune dei due Paesi per la sicurezza degli impianti nucleari (Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Anlagen, DSK), con il Fachverband für Strahlenschutz (Federazione degli esperti in radioprotezione dei due Paesi, FS) e con la Francia attraverso la Société Française de Radioprotection (SFRP). Laboratori svizzeri partecipano inoltre regolarmente a esperimenti comuni internazionali.

Nel contesto del rinnovamento delle reti di sorveglianza si sta cercando di rilevare automaticamente determinate misure in loco e di trasmettere in continuazione questi dati a una centrale attraverso un sistema in rete. La prima rete automatica di sorveglianza di questo tipo è il sistema NADAM con il quale si registra automaticamente per mezzo di contatori di Geiger-Müller l'intensità della dose ambiente in 58 stazioni di misura svizzere. L'Istituto svizzero di meteorologia si fa automaticamente trasmettere i dati delle sonde ogni 10 minuti. Una rete simile, destinata a rilevare le dosi ambiente in 15 a 20 punti nelle immediate vicinanze di ogni centrale nucleare, è in fase di realizzazione presso la Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (progetto MADUK). A complemento del sistema NADAM si prevede infine di ammodernare anche la sorveglianza della radioattività degli aerosoli nell'aria, istituendo una rete automatica di misura costituita da 10 sta-

zioni e un sistema di trasmissione dei dati a distanza (progetto RADAIR). Gli attuali apparecchi di sorveglianza degli aerosoli (i cosiddetti punti di primo allarme) devono essere rinnovati. In parecchi Paesi europei esistono o stanno per essere introdotte simili reti di sorveglianza automatica che completano le convenzioni internazionali su una rapida informazione reciproca in caso di infortunio nelle centrali nucleari. Queste reti automatiche consentono di notare rapidamente un'eventuale aumento della radioattività ambientale. Unite a misure complementari permettono di giudicare immediatamente la situazione nel caso in cui un'avaria dovesse causare una liberazione di radioattività e quindi di informare rapidamente e proteggere efficacemente la popolazione.

4. Radon e prodotti del suo decadimento

Con un equivalente di dose effettivo medio di 2,2 millisievert/anno (e estremi massimi di 150 millisievert/anno), il radon nei locali abitati costituisce la componente principale delle radiazioni alle quali è esposta la popolazione svizzera¹⁾. Il radon, un prodotto di decadimento del radio naturale presente nel suolo, può accumularsi all'interno degli edifici; attraverso la respirazione, i prodotti del suo decadimento penetrano nell'organismo, dove irradiano i polmoni ed è possibile che causino un maggior rischio di cancro ai polmoni.

I rilevamenti e le analisi svolte sinora sul tema del radon nella Svizzera sono descritti a fondo nel rapporto RAPROS (Radon-Programm-Schweiz "RAPROS": Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987-1991; UFSP, Berna, marzo 1992; ISBN 3-905235-00-5) e nel rapporto dell'UFSP sulla radioattività ambientale negli anni 1989-1990. Riassumiamo qui le principali conclusioni e questioni in sospeso relative al radon, formulate da Werner Zeller e Heinz Surbeck nel rapporto RAPROS:

1) Metodo di conversione applicato per la dose dovuta al radon

Una concentrazione di gas radon di 1 Bq/m^3 misurata all'interno della casa (con un fattore d'equilibrio di 0,4 e una permanenza all'interno della casa pari al 75% del tempo) corrisponde a un'esposizione equivalente all'equilibrio annua (EEE) di $0,3 \text{ Bq/m}^3 \text{ EEE}$. Conformemente a ICRP-50, si applica un fattore di dose di $0,09 \text{ mSv H}_{\text{eff}}$ per $\text{Bq}\cdot\text{anno}/\text{m}^3 \text{ EEE}$.

Una concentrazione di gas radon di 1 Bq/m^3 corrisponde quindi a un equivalente di dose effettivo annue di $0,027 \text{ mSv}$. La concentrazione media di gas radon nelle abitazioni svizzere, corretta delle distorsioni dovute al tipo di casa, alla ripartizione della popolazione e alla differenza tra estate e inverno, è di circa 66 Bq/m^3 ; aumentando tale cifra del 10% per tener conto della dose provocata dal radon-220 (un gas di breve durata, detto anche thoron) e di quella dovuta al radon presente all'aperto, si ottiene perciò una dose di circa $2,2 \text{ mSv/anno}$.

I dati disponibili consentono di esprimersi in modo affidabile sulla concentrazione media del radon all'interno delle case nelle diverse regioni del nostro Paese. Le differenze da una regione all'altra sono notevoli. La concentrazione di radon è alta (valori massimi di oltre 1000 Bq/m^3) soprattutto nella regione alpina e nelle valli sudalpine dei Grigioni, nelle regioni di suolo carsico del Giura occidentale e in singoli comuni del Canton Ticino. Nell'Altopiano svizzero, segnatamente nelle agglomerazioni di Baden, Berna, Brugg, Frauenfeld, Friburgo, Losanna, Lucerna, San Gallo, Sciaffusa, Winterthur, Zugo e Zurigo, le medie sono inferiori a 200 Bq/m^3 (valori massimi inferiori a 1000 Bq/m^3). Nelle zone e regioni menzionate si è esaminato almeno l'1 per mille delle case nelle agglomerazioni e l'1 per cento al di fuori delle agglomerazioni. Nelle città di Aarau, Basilea, Ginevra, Olten, Soletta e nel fondovalle del Basso Vallese si sono svolte misure in meno dell'1 per mille delle case. E' tuttavia altamente improbabile che queste regioni o agglomerazioni facciano parte di quelle in cui il rischio dovuto al radon è elevato.

Altri problemi ancora aperti sono il fatto che esistono tuttora in Svizzera regioni dove si è esaminata soltanto una percentuale insufficiente di abitazioni, la difficoltà di formulare pronostici relativi al radon prima della costruzione di un nuovo edificio e la mancanza di dati sugli effetti a lunga scadenza di particolari concentrazioni di radon. Una documentazione esauriente sulle possibilità di risanamento degli edifici con alte concentrazioni di radon si trova ancora allo stato di progetto e deve essere completata. Sebbene sia possibile, grazie alla camera radon dell'Istituto Paul Scherrer (IPS), calibrare le misure del gas radon, manca un'equipaggiamento corrispondente per i prodotti radiologicamente rilevanti del suo decadimento. Anche alla quantificazione del rischio di cancro ai polmoni causato dal radon sono ancora legate gravi incertezze e non sono ancora disponibili esiti di studi epidemiologici della popolazione per quanto riguarda il radon nei locali abitati.

Compito prioritario per il futuro è quello di trovare e risanare le case con elevate concentrazioni di radon, per ridurre le dosi più forti. A tal scopo sono necessari altri programmi di misura nelle regioni dove le conoscenze attuali o indizi geologici lasciano presumere concentrazioni particolarmente alte. Bisogna inoltre procedere all'analisi dei dati ottenuti e degli studi svolti sinora sull'influsso della struttura geologica sulla concentrazione del radon. Per riuscire anche in futuro a risanare le case con alte concentrazioni di radon sono assai importanti la consulenza scientifica e l'informazione del pubblico. Rimane infine indispensabile la cooperazione internazionale, segnatamente per svolgere studi epidemiologici e fissare valori limite.

5. Sorveglianza generale della radioattività ambientale

Lo scopo della sorveglianza generale è quello di osservare la radioattività artificiale distribuita su ampi spazi, ad esempio le ricadute di esperimenti nucleari svolti in passato e dell'incidente nel reattore di Cernobil. Nel contempo si misurano anche i radionuclidi naturali.

Anche nel 1991, la radioattività artificiale presente **nelle precipitazioni e nell'aria** era assai modesta. Soltanto per mezzo di punti di raccolta ad alto volume è stato ancora possibile accertare nell'aria attività del cesio-137 comprese tra 0,5 e 7 microBq/m³ nel Canton Friburgo e tra 4 e 15 microBq/m³ nel Ticino. Nelle precipitazioni, l'attività del cesio-137 era sempre inferiore a 0,05 Bq/l, nella maggior dei casi anche inferiore al limite accertabile di 0,01 Bq/l. Nei campioni mensili di precipitazioni delle stazioni non influenzate da emissioni di aziende, l'attività del tritio era ancora di alcuni Bq/l. Dalle misure dei gas nobili radioattivi nell'aria svolte dall'Università di Berna risulta una media di 0.9 Bq/m³ per il cripton-85, mentre i valori dell'argon-37 variano tra 0.8 e 3.4 mBq/m³. Il contributo di questi due gas alla dose d'irradiazione è trascurabile. La parte del carbonio-14 nell'aria dovuta agli esperimenti con bombe atomiche è ancora diminuita e corrisponde ora al 13.7% circa della componente naturale. Nelle immediate vicinanze delle centrali nucleari si è constatato inoltre un leggero aumento del contenuto di carbonio-14, dovuto alle emanazioni di gas da queste aziende.

Il contenuto di cesio-137 misurato nel 1991 nei **campioni di suolo e d'erba** non differiva in modo significativa da quello riscontrato l'anno precedente. 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 e in parte della Svizzera orientale le concentrazioni misurate sono difatti ancora superiori a quelle del resto della Svizzera. Accanto al cesio-137, al cesio-134 e a tracce di antimonio-125 (Ticino) e cobalto-60 (nelle vicinanze della centrale nucleare di Mühleberg), l'unico nuclide artificiale accertabile era lo stronzio-90, proveniente quasi esclusivamente dalle ricadute delle bombe atomiche.

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). 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. Negli ultimi anni, i valori del tritio misurati in alcuni campioni erano in leggero aumento. Tranne nei due casi indicati nel capitolo 7, i valori limite per acque di superficie pubblicamente accessibili non sono tuttavia stati superati.

Le misure sul posto di singole componenti della radioattività artificiale e naturale presente nel suolo si svolgono regolarmente per mezzo della **spettrometria gamma in situ**. Nei punti esaminati nel 1991, sono risultate dosi ambiente comprese tra 0,7 e 1,9 millisievert/anno. La parte naturale predomina, con 0,6 a 1,3 millisievert/anno. La parte artificiale varia tra 0,01 millisievert/anno nel Vallese e 0,9 millisievert/anno nel Ticino e proviene soprattutto da Cernobil. La parte dovuta

agli esperimenti con armi nucleari svolti in passato era inferiore, in tutti i punti di misura. a 0,06 mSv/anno. Non si sono riscontrate altre componenti artificiali degne di nota.

Per il controllo automatico delle dosi d'irradiazione esterna è a disposizione la **rete NADAM** con 58 stazioni di misura. Ogni dieci minuti, la Centrale nazionale d'allarme (CENAL) raccoglie le misure attuali ed è perciò in grado di costatare immediatamente un eventuale aumento d'intensità della dose ambiente. Nel 1991, si sono aggiunte alla rete due nuove stazioni di misura: il loro numero è ora di 58. Presso alcune stazioni (in particolare nel Ticino), il contributo di Cernobil era ancora accertabile, ma in graduale diminuzione. I perturbamenti causati alla stazione di misura La Dôle dal radar di controllo del traffico aereo, hanno potuto essere eliminati per mezzo di filtri.

La sorveglianza della radioattività nelle **derrate alimentari** si svolge in stretta cooperazione con i laboratori cantonali. La radioattività 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 dell'accertabile. Valori elevati di cesio dovuti all'incidente di Cernobil si trovano ancora in singoli campioni di selvaggina importata, in determinati funghi domestici non coltivati (soprattutto boleti dei castagni e agarici rugosi) e in quelli importati (soprattutto gallinacci). In singoli casi, i boleti dei castagni e gli agarici rugosi domestici presentavano ancora valori di alcune migliaia di Bq/kg di funghi freschi. Dato il basso tasso di consumo di questi alimenti, le dosi d'irradiazione che ne derivano sono basse. La dose media d'irradiazione dovuta nel 1991 al cesio ingerito con il cibo da una persona con abitudini alimentari medie era di alcuni millesimi di millisievert. Un consumo regolare di acqua minerale con un contenuto limitato di radionuclidi naturali apporta al massimo alcuni centesimi di mSv per anno.

Per determinare lo **stronzio-90** nei campioni d'ambiente e di derrate alimentari nonché nelle vertebre e nei denti di latte umani è necessaria una separazione radiochimica; vi si procede perciò in laboratori specializzati. Questo nuclide ha un comportamento fisiologico simile a quello del calcio ed è perciò incorporato nell'organismo umano soprattutto nei denti e nelle ossa. Nel 1991, i valori misurati in Svizzera erano assai bassi: lo stronzio-90 ingerito con il cibo causa un'esposizione a radiazioni interne inferiore a 0,005 millisievert/anno.

Il controllo finale della sorveglianza della radioattività è costituito da **misure dell'intero organismo** con le quali si misura il contenuto di cesio del corpo umano vivente. Tali misure permettono di verificare se la quantità di cesio assorbita con il cibo e l'esposizione a irradiazione che se ne deduce corrispondano ai calcoli fondati sul controllo delle derrate alimentari. Misure dell'intero organismo si svolgono regolarmente all'Istituto Paul Scherrer (IPS) e all'Ospedale cantonale di Ginevra. Nel 1991, dalle misure svolte su collaboratori dell'IPS risultava una quantità media di cesio di 120 Bq per persona, pari a una dose d'irradiazione annua di circa 0,004 millisievert. I valori misurati all'ospedale cantonale di Ginevra su liceali dell'età di 17 a 19 anni erano per tutto

l'anno inferiori a 50 Bq per persona, la dose era dunque inferiore a 0,002 millisievert/anno.

6. Emanazioni degli impianti nucleari

Nelle licenze delle centrali nucleari di Beznau, Gösgen, Leibstadt e Mühleberg e dell'Istituto Paul Scherrer sono posti alle evacuazioni di sostanze radioattive limiti stabiliti in modo che la dose annuale d'irradiazione della popolazione residente nelle vicinanze non superi 0,2 millisievert/anno. Le aziende devono inoltre 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 0,02 millisievert per la centrale nucleare di Mühleberg è meno di 0,01 millisievert per quelle di Beznau, Gösgen e Leibstadt. Per queste ultime, il contributo principale era quello delle emanazioni di carbonio-14. La radiazione diffusa di neutroni nelle vicinanze dell'IPS-ovest causa dosi individuali di 0,03 millisievert/anno al massimo (calcoli fondati su ipotesi conservatrici).

La **sorveglianza dell'ambiente circostante** gli impianti nucleari si svolge in stretta collaborazione tra la Divisione principale per la sicurezza degli impianti nucleari (DSN) e l'Ufficio federale della sanità pubblica. I programmi e metodi di misura rispecchiano lo standard internazionale; accanto alle dosi ambiente, rilevate in numerosi punti nelle vicinanze degli impianti, si misura 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. Si svolgono inoltre misure in situ con detettori portatili al germanio, voli aeroradiometrici e altri viaggi di misura.

Le misure della radioattività svolte nell'anno in rassegna nelle vicinanze degli impianti nucleari non hanno indicato concentrazioni o dosi superiori alla media. 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 del corso fiumano 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.

7. Emanazioni dell'industria e degli ospedali

Le aziende che lavorano con sostanze radioattive devono essere in possesso di una licenza e sono sottoposte al controllo dell'Ufficio federale della sanità pubblica (medicina, ricerca, insegnamento) o dell'Istituto nazionale svizzero d'assicurazione contro gli infortuni INSAI (industria commercio, artigianato, laboratori d'analisi e aziende o uffici corrispon-

denti dell'amministrazione pubblica). Dalle aziende che manipolano grandi quantità di sostanze radioattive, l'istanza di controllo può esigere un bilancio delle emanazioni radioattive e la sorveglianza dell'ambiente circostante (precipitazioni, acque di superficie, sorgenti, ecc). Questo vale per le ditte Radium-Chemie a Teufen/AR e MB-Microtec a Niederwangen/BE che producono vernici luminescenti al tritio e per la città di La-Chaux-de-Fonds, dove queste vernici sono impiegate nell'industria orologiera. Le emanazioni degli ospedali nelle grandi città - si tratta soprattutto dello iodio-131 adoperato per il trattamento della tiroide - sono sorvegliate per mezzo di campioni regolarmente raccolti negli impianti di depurazione.

Le aziende industriali tenute a presentare all'INSAI un bilancio delle loro emanazioni hanno osservato i limiti posti dalle loro licenze all'evacuazione di sostanze radioattive nell'ambiente. Con le misure della radioattività nelle vicinanze delle aziende controllate e all'uscita degli impianti di depurazione delle città di Zurigo, Basilea, Berna e Losanna si è accertata la presenza di tritio e, per parte degli impianti di depurazione, di iodio-131. In un caso, il valore limite (C_w300 giusta l'art. 107 ORP) per le acque di pubblico accesso (ricettore) è stato superato, in un altro caso raggiunto. Nell'aprile 1991, il contenuto di tritio nelle acque di scolo dell'impianto di depurazione di La-Chaux-de-Fonds era del fattore 2 superiore al valore limite; nel medesimo mese la concentrazione di iodio-131 all'uscita dell'impianto di depurazione di Berna corrispondeva esattamente al limite. Nel primo caso si tratta di tritio proveniente probabilmente dal gorgogliatore di lavaggio del gas combusto dell'incenerimento dei rifiuti di La-Chaux-de-Fonds, nel secondo caso di iodio-131 adoperato negli ospedali bernesi per il trattamento di malattie della tiroide. In ambedue i casi si sono avvertite le autorità competenti che provvedono agli schiarimenti necessari. Poiché si tratta di acque non destinate al consumo umano, più tardi fortemente diluite con l'immissione nell'Aar, rispettivamente nel Doubs, si può escludere con un'alto grado di certezza che la popolazione ne abbia tratto dosi addizionali d'irradiazione. A parte queste due eccezioni, non si sono constatate, nelle vicinanze delle aziende sorvegliate, concentrazioni inammissibili; le dosi d'irradiazione della popolazione dovute alle evacuazioni di tali aziende sono 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 millisievert/anno al massimo.

8. Valutazione degli esposti e dosi d'irradiazione della popolazione

In media, le singole componenti della dose d'irradiazione della popolazione non si sono modificate sensibilmente rispetto agli anni precedenti (cfr. rapporto dell'UFSP sulla radioattività ambientale per il 1989/1990).

Il maggior contributo all'esposizione a radiazioni naturali è quello del radon e dei prodotti del suo decadimento, soprat-

tutto all'interno degli edifici abitati. Secondo i rilievi svolti sinora, i valori variano tra 0,3 e - in singoli casi - 150 millisievert/anno; la media aritmetica ponderata è di 2,2 millisievert/anno. I rimanenti studi sul radon nella Svizzera concernono le zone di particolare rischio e i provvedimenti di risanamento delle case con alte concentrazioni di radon.

La **radioattività naturale nel suolo e nei materiali di costruzione** causa in media dosi di circa 0,45 millisievert/anno, con valori compresi - a seconda del contenuto di nuclidi del suolo o dei materiali di costruzione - tra 0,2 e 1,5 millisievert/anno. Nel calcolo si è tenuto conto del tempo di permanenza all'interno delle case, rispettivamente dell'effetto schermante dei muri. La radiazione proviene dalle catene naturali di decadimenti dell'urano e del radio, del torio e del potassio-40.

Il contributo della **radiazione cosmica** aumenta con l'altitudine. Nella media Svizzera comporta circa 0,34 millisievert/anno; i valori calcolati per le diverse altitudini sul livello del mare oscillano tra 0,25 e 0,9 millisievert/anno.

I **radionuclidi naturali incorporati nell'organismo** provocano dosi medie di circa 0,38 millisievert/anno, con valori compresi probabilmente tra 0,2 e 0,5 millisievert/anno. Il contributo principale è quello del potassio-40; quest'isotopo costituisce circa 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 di circa 0,01 millisievert/anno.

Per quanto riguarda le dosi d'irradiazione provenienti da **fonti artificiali**, predomina la parte derivante dall'applicazione medica delle radiazioni (ad esempio nella radiodiagnosi) e dei radionuclidi (ad esempio nella medicina nucleare). Secondo rilevamenti svolti in passato, i valori medi d'irradiazione della popolazione si situano intorno a 1 millisievert/anno per la radiodiagnosi e 0,01 millisievert/anno per la medicina nucleare. Le dosi individuali dipendono dal tipo e dalla frequenza dell'esame o trattamento medico e comportano probabilmente massimi di 30 millisievert/anno per la radiodiagnosi e 80 millisievert/anno per la medicina nucleare.

Le **ripercussioni dell'incidente nel reattore di Cernobil** causano ancora modeste dosi d'irradiazione, soprattutto attraverso il cesio-137 sedimentato sul suolo e ingerito con il cibo. La dose totale media d'irradiazione della popolazione Svizzera dovuta a Cernobil è di circa mezzo millisievert, di cui nove decimi si sono accumulati già entro la fine del 1991. La dose media d'irradiazione interna e quella esterna causate da Cernobil nel 1991 dovrebbero essere ambedue inferiori a 0,01 millisievert/anno.

Le ripercussioni degli **esperimenti con armi nucleari** svolti negli anni '50 e '60 non sono praticamente più misurabili; nel 1991 hanno causato in media dosi d'irradiazione inferiori a 0,01 millisievert/anno.

Altre dosi, difficilmente valutabili isolatamente, derivano da **fonti minori** (impiego di sostanze radioattive in oggetti d'uso, come ad esempio orologi), dal **fumo, dall'aviazione civile**, ecc. Per la media della popolazione, la somma di questi contributi non dovrebbe tuttavia superare 0,1 millisievert/anno. Secondo uno studio recente del "GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit" a Monaco, bisogna prevedere per voli ad una quota superiore a 10 km un'intensità di dose di 0,005 millisievert/ora, per quote superiori a 11,7 km 0,008 millisievert/ora. Dai calcoli fatti in questo rapporto risulta per i piloti di linea una dose d'irradiazione annua addizionale dovuta a radiazione cosmica di 2 a 3 millisievert.

Anche se si presuppongono condizioni sfavorevoli per quanto riguarda il tempo passato all'aperto e le abitudini alimentari, la dose d'irradiazione dovuta a **emanazioni delle centrali nucleari** calcolata per chi abita nelle immediate vicinanze non supera 0,02 millisievert/anno. Nelle immediate vicinanze dell'IPS-ovest, la radiazione diffusa di neutroni causa dosi individuali fino a 0,03 millisievert/anno (calcolate secondo ipotesi conservatrici).

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 millisievert/anno.

Le **persone professionalmente esposte** occupate nelle centrali nucleari, nell'industria, nel commercio, nei servizi pubblici, nella ricerca e nella medicina (circa 57'000 in tutto) hanno subito nel 1991 dosi sull'intero organismo di 40 millisievert/anno al massimo; il 95% dei valori era tuttavia inferiore a 1 millisievert/anno. La dose individuale media era di 0,23 millisievert/anno.

La metà circa dell'esposizione totale media della popolazione Svizzera a radiazioni, che si aggira sui 4,6 millisievert/anno, deriva dal radon e a prodotti del suo decadimento all'interno delle case, un quarto all'irradiazione naturale rimanente, un quarto alla medicina e alle altre fonti artificiali. Dedotto quello della medicina, il contributo artificiale è inferiore a 0,2 millisievert/anno.

9. Ringraziamenti

Le indicazioni di questo rapporto si fondano sulle misure e sui lavori dei laboratori e uffici elencati all'inizio del fascicolo, che ringraziamo cordialmente per la loro cooperazione. I singoli argomenti sono trattati più a fondo nella parte B. Ringraziamo cordialmente anche la signora M. Gobet per la stesura del testo e il signor A. Gurtner per le rappresentazioni grafiche.

Altre indicazioni e informazioni sul tema "radioattività e radioprotezione" si trovano nell'opuscolo con questo titolo edito nel 1991 dall'Ufficio federale della sanità pubblica.

(Traduzione italiana: Claudia Forni-Degkwitz)

FIG. 1 : DOSE EFFETTIVA MEDIA ANNUALE DELLA POPOLAZIONE SVIZZERA IN MILLI-SIEVERT (1991)

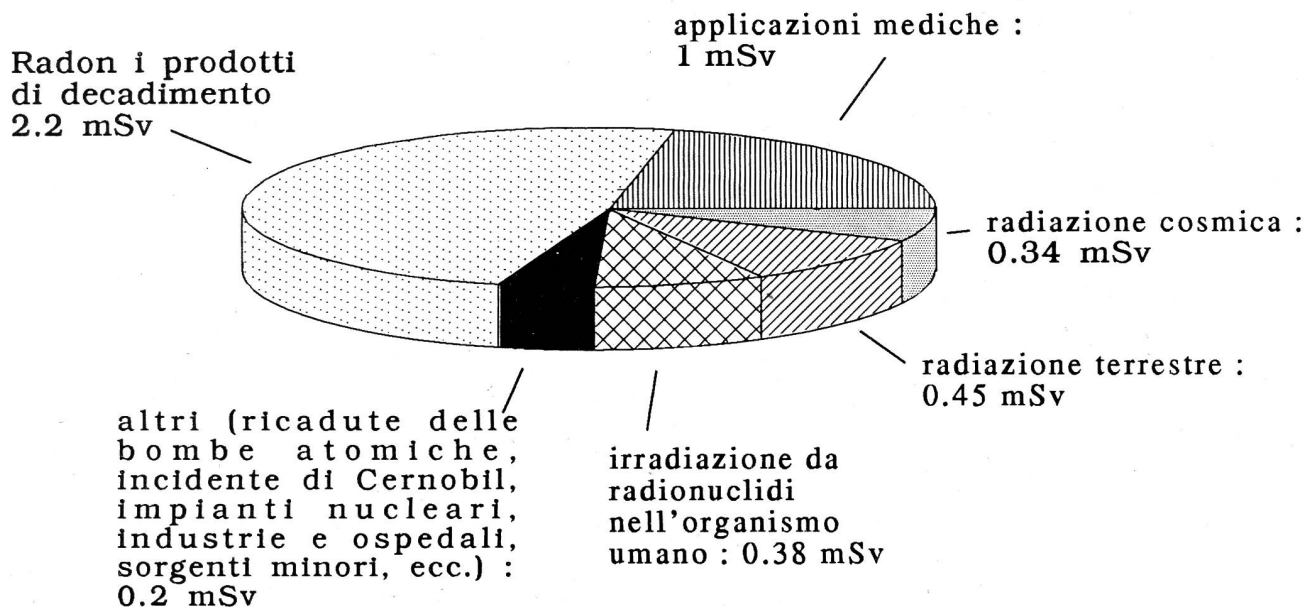


FIG. 2 : DISTRIBUZIONE APPROSSIMATIVA DELLE DOSI IN SVIZZERA

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)

