

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: - (1989-1990)

Rubrik: Zusammenfassung = Résumé = 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.10

Radioattività dell'ambiente e
dosi d'irradiazione della popolazione

Testo italiano: pagina A.20

A. ZUSAMMENFASSUNG

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

Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält eine Zusammenfassung der Radioaktivitätsmessungen der Jahre 1989 und 1990 in der Schweiz und der sich daraus ergebenden Strahlendosen. Er befasst sich mit der natürlichen Radioaktivität, der Radioaktivität in Lebensmitteln, der Strahlenexposition durch Radon im Hausinnern, den Auswirkungen von Radioaktivitätsabgaben aus Kernanlagen und andern Betrieben sowie weiteren Strahlenquellen.

1. Gesetzliche Regelungen

Gemäss Art. 107 der Strahlenschutzverordnung vom 30. Juni 1976 (eine neue ist gegenwärtig 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 mSv verursachen.

Radioaktive Strahlenquellen, insbesondere auch die Direktstrahlung aus einem Kernkraftwerk, dürfen ausserhalb der Anlage auf öffentlich zugänglichem Gebiet zu einer Ortsdosis von höchstens 0.1 mSv/Woche führen. Unter Berücksichtigung der Aufenthaltsdauer von Personen an diesen Stellen, betragen die daraus resultierenden Personendosen nur ein Bruchteil davon.

Für die Radon-Konzentration im Hausinnern bestehen in der Schweiz noch keine Vorschriften; im Rahmen der kommenden, neuen Strahlenschutzverordnung soll auch in diesem Bereich eine Regelung eingeführt werden.

Nach dem Reaktorunfall Tschernobyl hat der Bundesrat in einer "Verordnung über Konzentrationen von radioaktiven Nukliden in Lebensmitteln" vom 8. September 1986 die Konzentration der beiden Nuklide Caesium-134 und Caesium-137 zusammen folgendermassen limitiert: bezogen auf den verzehrsbereiten Zustand sind Milch, Rahm, Milchkonserven und Kindernährmittel mit mehr als 370 Bq/kg, sowie übrige Nahrungsmittel mit mehr als 600 Bq/kg zu beanstanden und dürfen nicht frei in den Verkehr gebracht werden.

2. Grundlagen: Einheiten für Radioaktivität und Strahlung

Für die Ergebnisse der Radioaktivitätsüberwachung wird in diesem Bericht die Einheit Becquerel (Bq) verwendet, mit 1 Bq = 1 radioaktiver Zerfall pro Sekunde. Die Präfixe milli-, micro- bzw. nano- (m, μ , n) bedeuten ein Tausendstel, ein Millionstel bzw. ein Milliardenstel.

Die Strahlendosen werden gemäss den Empfehlungen der Int. Strahlenschutzkommission (ICRP) als **effektive Dosis** in der Einheit mSv (milli-Sievert) pro Jahr angegeben. Dabei geht man

von der im Körpergewebe oder Organ absorbierten Strahlungsenergie aus (**absorbierte Dosis** gemessen in Gray; 1 Gy = 1 Joule/kg). Durch Multiplikation mit dem Wichtungsfaktor für die betreffende Strahlenart ¹⁾ erhält man die **Aequivalentdosis** für das betreffende Organ. Die Gesamtbelastung, genannt effektive Dosis, ergibt sich durch Summation der einzelnen Organdosen, wobei diese entsprechend der Strahlenempfindlichkeit der Organe gewichtet werden ²⁾. Auf diese Weise erhält man mit der effektiven Dosis eine Bewertungsgrösse, die die biologische Wirkung der Strahlung auf den ganzen Menschen angibt, und unabhängig ist von Art und Herkunft der Strahlung.

Bei der Ermittlung der Strahlendosis wird weiter unterschieden 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, und dort einzelne Organe oder den ganzen Körper bestrahlt. Für die Ermittlung der externen Dosis wird von der in Luft gemessenen Ionendosis (früher wurde die Einheit Röntgen verwendet) ausgegangen. In diesem Bericht wird die gerundete Umrechnung $1 \text{ R} \hat{=} 0.01 \text{ Sv}$ (bzw. $1 \text{ micro-R/h} = 10 \text{ nano-Sv/h}$) verwendet. Für die Umrechnung der gemessenen Ortsdosis in die Dosis einer Person, die sich an dieser Stelle aufhält, sind zusätzlich Energie und Einfallsrichtung der Strahlung zu berücksichtigen. Dies führt zu einem mittleren Konversionsfaktor von 0.8. (d.h. $1 \text{ R} \hat{=} 0.008 \text{ Sv}$).

Bei den 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 medizinische und technische Anwendungen von Strahlung und Radioaktivität).

3. Radon und -Folgeprodukte

Radon im Wohnbereich gibt mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von 2.2 mSv/Jahr und Extremwerten bis 150 mSv/Jahr den grössten Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung. Das Edelgas Radon, ein Zerfallsprodukt des im Boden vorhandenen natürlichen Radiums, kann sich im Hausinnern akkumulieren und dessen Folgeprodukte führen nach Einatmen zu einer Lungenbestrahlung und damit zu einem möglicherweise erhöhten Lungenkrebsrisiko.

- 1) $w_R = 20$ für Alphastrahlen; 5 - 20 für Neutronen; 1 für die übrigen
- 2) $w_T = 20\%$ 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

Die bisher durchgeführten Erhebungen in der Schweiz umfassen rund 4000 Wohnräume und 1700 Kellerräume und sind noch nicht abgeschlossen. Die Wohnraumdaten ergeben nach Korrektur bezüglich Haustyp, regionaler Bevölkerungsverteilung und Sommer-Winter-Unterschied ein arithmetisches Mittel von 66 Bq/m^3 für das Radongas. Dabei liegen 90% der Werte unter 150 Bq/m^3 ; die Extremwerte gehen allerdings bis einige tausend Bq/m^3 .

In Bauernhäusern sind die Werte im Schnitt dreimal, in Einfamilienhäusern 1.5 mal höher als in Mehrfamilienhäusern. In den oberen Stockwerken sind die Konzentrationen etwas tiefer als in den unteren. Bei hohen Werten im Keller, sind in der Regel auch die Werte im Wohnbereich erhöht. Ältere Gebäude zeigen meist höhere Werte als neuere; ebenso ist die Konzentration in Granit- oder Bruchsteingebäuden höher, als in solchen aus Backstein, Beton oder Holz. Im Winter sind die Konzentrationen um ein Drittel höher (Mehrfamilienhäuser) bzw. liegen fast beim Doppelten (Einfamilien- und Bauernhäuser) im Vergleich zum Sommer.

Die höchsten arithmetischen Mittelwerte ergaben sich in den Alpen (Kanton Graubünden) und im Jura (Kanton Neuenburg). Ebenfalls höher als der Landesdurchschnitt lagen weitere Gebiete aus den Hoch-, Vor- und Süd-Alpen sowie dem Jura. Die tiefsten Werte ergaben sich im Mittelland und in den Städten. Die weiteren Untersuchungen befassen sich in erster Linie mit den Gebieten, wo bisher erhöhte Werte gefunden wurden oder aufgrund geologischer Hinweise zu erwarten sind. Bei Häusern mit extrem hohen Werte sind bauliche Sanierungsmassnahmen vorgesehen. Richtwerte für die Sanierung sind in Vorbereitung.

Im Rahmen des nationalen Radon-Forschungsprogrammes RAPROS wurden unter Koordination durch das Bundesamt für Gesundheitswesen weitere Untersuchungen betreffend Herkunft und Ausbreitung des Radons durchgeführt. Sie ergaben u.a. dass in unserem Lande Trinkwasser sowie Baumaterialien nicht wesentlich zu erhöhten Radonpegeln im Hausinnern beitragen. Massgeblich ist hingegen der Radiumgehalt des Bauuntergrundes, das im Boden frei verfügbare Radon und vor allem die Permeabilität des Erdbodens für das Radon-Gas. Im weiteren ist die Dichtheit der baulichen Strukturen von Bedeutung, sowie die Luftströmungen im Hausinnern; so kann ein durch aufsteigende Warmluft im Haus entstehender Kamineffekt Radon aus den Kellerräumen und dem Bauuntergrund "ansaugen". Weitere Untersuchungen ergaben, dass - entgegen früherer Vermutungen - die aus Energiespargründen durchgeführten Abdichtungen an der Gebäudehülle im Mittel nicht zu einer Erhöhung des Radonpegels führen.

Ein weiteres Projekt befasste sich mit der Herkunft des Radon im Jura, da dort - entgegen der weitverbreiteten Meinung, dass der Jura arm an natürlicher Radioaktivität sei - häufig hohe Radonwerte in Häusern gemessen wurden. Die Untersuchungen ergaben für den westlichen Jura eine grossflächige Radium-Anomalie natürlicher Herkunft. Die oberste Erdbodenschicht weist einen deutlich höheren Radiumgehalt auf, als aufgrund des darunterliegenden Gesteins zu erwarten wäre. Dazu ist der Untergrund im Jura zusätzlich stark verkarstet, was die Permeabilität für das Radongas erhöht. Deshalb treten hier, vor allem in Einfamilien- und Bauernhäusern z.T. sehr hohe Radonwerte auf.

Sanierungsversuche wurden bisher an fünf Häusern mit hohen Radonkonzentrationen durchgeführt, wobei sich die Methode der (meist aktiven) Unterbodenbelüftung in Verbindung mit einer Bodenabdichtung bewährt und zu einer deutlichen Senkung des Radonpegels geführt hat.

4. 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 in den Berichtsjahren sehr tief und z.T. nicht mehr nachweisbar. Für die Überwachung der Luft konnte die Messempfindlichkeit durch neue Sammelgeräte bis in den sog. "low-level"-Bereich von micro-Bq/m^3 verbessert werden. Der Tritiumgehalt in den Niederschlägen an unbeeinflussten Stationen hat wiederum leicht abgenommen und liegt in den Monatsproben unter 7 Bq/Liter. Die in Bern durchgeführten Messungen der radioaktiven Edelgase Krypton-85 und Argon-37 in der Luft ergeben im Durchschnitt für das erstere 1 Bq/m^3 während die Werte des letztere zwischen 0.6 und 6 mBq/m^3 schwanken. Ihr Beitrag zur Strahlendosis ist vernachlässigbar. Beim in der Luft vorhandenen Kohlenstoff-14 nimmt der künstliche, von den Atombombenversuchen stammende Beitrag weiter ab und liegt noch bei etwa 16 % des natürlichen Anteils.

Beim Caesium-134 und vor allem beim Caesium-137 in den **Erde-, Gras- und Milchproben** war vor allem im Tessin immer noch der Tschernobyl-Einfluss zu erkennen. Da das Caesium langsam in tiefere Bodenschichten eindringt bzw. abklingt, ergibt sich eine allmähliche Abnahme der externen Dosis. Nebst diesen Radionukliden war meist nur noch Strontium-90 (fast ausschliesslich vom Atombombenausfall) als künstliches Nuklid nachweisbar.

Bei der Überwachung der **aquatischen Systeme** (Oberflächen- und Grundwasser, Fische, Wasserpflanzen und Sedimente) sind in Sedimenten, Wasserpflanzen und Fischen noch Caesium-Beiträge von Tschernobyl feststellbar, unterhalb der Kernkraftwerke auch Beiträge aus den flüssigen Abgaben dieser Betriebe sowie in Oberflächengewässern Tritium aus der Leuchtfarbenherstellung und -Anwendung. Eine Überschreitung von Richtwerten wurde nicht festgestellt.

Für die Messung der künstlichen und natürlichen Radioaktivität im Erdboden wird heute die **in-situ-Gammaspektrometrie** routinemässig angewendet. Sie ermöglicht eine rasche Bestimmung vor Ort der einzelnen Komponenten der Radioaktivität im Boden und der daraus resultierenden externen Strahlenexposition. Für die beiden Berichtsjahre ergaben die Messungen einen künstlichen Anteil (hauptsächlich durch Tschernobyl) an der externen Strahlendosis im Freien von bis 50% im Tessin, bis 25% im Kanton Graubünden und bis 10% in der übrigen Schweiz.

Für die automatische Überwachung der externen Strahlendosen verfügt die Schweiz seit einigen Jahren über das aus 56 Sta-

tionen bestehende **NADAM-Netz**. Die Zentrale in Zürich (Nationale Alarmzentrale) sammelt alle zehn Minuten die aktuellen Messwerte und kann einen Anstieg der Ortsdosisleistung sofort feststellen. Der Tschernobyl-Beitrag war bei gewissen Stationen 1989 und 1990 (vor allem im Tessin) noch nachweisbar, nimmt aber allmählich ab. Weitere automatische Messnetze sind in Planung, insbesondere für die Radioaktivität der Aerosole und für die Ortsdosen im Nahbereich der Kernkraftwerke.

Die Überwachung der Radioaktivität der **Lebensmittel** erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den kantonalen Laboratorien. In den Hauptnahrungsmitteln ist die künstliche Radioaktivität (Caesium-134, Caesium-137 und Strontium-90) gering und oft unter der Messgrenze. Erhöhte Caesium-Werte als Folge des Tschernobyl-Unfalles ergaben sich noch in einzelnen Proben von importiertem Wildfleisch, bei gewissen einheimischen Wildpilzen (hauptsächlich Maronenröhrlinge und Zigeunerpilze) und bei importierten Pilzen (vor allem Pfifferlinge). In einzelnen Fällen wurde bei solchen Proben bis über Tausend Bq/kg Frischgewicht festgestellt. In Anbetracht der geringen Konsumraten von Wildfleisch und Wildpilzen sind die daraus resultierenden Strahlendosen klein. Das Caesium in den Lebensmitteln insgesamt führte im schweizerischen Durchschnitt in den Jahren 1989 und 1990 zu weniger als 0.01 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 1989 und 1990 wieder Werte wie vor Tschernobyl (dessen Strontium-90-Anteil betrug in der Schweiz nur ein Hundertstel des Caesium-Anteils). Das mit der Nahrung aufgenommene Strontium-90 führt zu einer internen Strahlenexposition von weniger als 0.01 mSv/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 und dem Kantonsspital Genf durchgeführt und ergaben 1989 und 1990 am häufigsten Caesium-Werte im Bereich von 100 bis 200 Bq pro Person, was zu jährlichen Dosen von wenigen Tausendstel eines mSv führt.

5. 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 mSv beträgt. Die Kernanlagen sind verpflichtet, ihre **Radioaktivitätsabgaben** über Abluft und Abwasser an die Umwelt laufend zu überwachen und zu bilanzieren. Die Hauptabteilung

für die Sicherheit der Kernanlagen kontrolliert diese Angaben durch eigene Messungen und berechnet die für die Umgebungsbevölkerung resultierenden maximalen Strahlendosen. In den beiden Berichtsjahren haben die Kernanlagen ihre Grenzwerte eingehalten und die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Nahumgebung lag unter 0.03 mSv.

Die **Überwachung der Umgebung** der Kernanlagen erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen und dem Bundesamt für Gesundheitswesen (SUER) und weiterer Stellen. Die Messprogramme umfassen, nebst den Ortsdosen an zahlreichen Stellen in der Umgebung auch 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 in den Berichtsjahren in der Umgebung der Kernanlagen durchgeführten Messungen der Radioaktivität ergaben keine über den Richtwerten liegende Konzentrationen oder Dosiswerte. Bei der Direktstrahlung im 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 gering.

6. Abgaben aus Industrien und Spitälern

Der Umgang mit radioaktiven Stoffen ist bewilligungspflichtig. Betriebe, die mit radioaktiven Stoffen umgehen werden vom Bundesamt für Gesundheitswesen (Medizin, Forschung und Lehre) bzw. von der Schw. Unfallversicherungsanstalt (Industrie, Handel, Gewerbe, analytische Labors sowie entsprechende Betriebe und Stellen der öffentlichen Verwaltung) kontrolliert und gegebenenfalls wird eine Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe verlangt. Bei Betrieben, die grössere Mengen verarbeiten, z.B. die Firmen Radium-Chemie in Teufen/AR und MB-Microtec in Niederwangen/BE, die Tritium-Leuchtfarbe herstellen sowie in der Stadt La Chaux-de-Fonds, wo diese Leuchtfarbe in der Uhrenindustrie verarbeitet wird, wird eine Umgebungsüberwachung (Niederschläge, Oberflächengewässer, Quellen etc.) durchgeführt. 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 und Spitäler haben 1989 und 1990 die in den Bewilligungen festgelegten Limiten für die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umwelt eingehalten. Radioaktivitätsmessungen in der Umgebung dieser Betriebe sowie in den Kläranlagen der Städte Zürich, Basel, Bern und Lausanne ergaben keine unzulässigen Aktivitätskonzentrationen und die daraus resultierenden Strahlendosen bei der Bevölkerung lagen weit unter den zulässigen Limiten. Bei einem Tritium-verarbeitenden Betrieb der Leuchtfarbenindustrie ergaben Tritiummessungen im Urin von Anwohnern der Firma Dosiswerte bis 0.03 mSv/Jahr.

7. Strahlendosen der Bevölkerung

Mit Ausnahme des Dosisbeitrages durch den Tschernobyl-Unfall haben sich die einzelnen Komponenten der durchschnittlichen Strahlenexposition gegenüber den entsprechenden Daten der früheren Jahre (vgl. KUER-Berichte) nicht verändert.

Bei der natürlichen Strahlenexposition kommt der grösste Beitrag vom **Radon und seinen Folgeprodukten**, hauptsächlich im Hausinnern. Gemäss den bisherigen Erhebungen in Schweizer Wohnhäusern liegt der Wertebereich zwischen 0.3 und in vereinzelt Fällen bis 150 mSv/Jahr, mit einem gewichteten, arithmetischen Mittelwert von 2.2 mSv/Jahr. Das Ziel von Radon-Sanierungsmassnahmen ist es, die Strahlenexposition in jenen Häusern mit extrem hohen Radonwerte durch bauliche Massnahmen zu senken.

Die **Radioaktivität im Erdboden und in Baumaterialien** führt im Mittel zu etwa 0.45 mSv/Jahr, mit einem Wertebereich von je nach Radionuklidgehalt des Erdbodens bzw. der Baustoffen von 0.2 bis 1.5 mSv/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.

Die Gamma-Komponente der **kosmischen Strahlung** steigt mit zunehmender Höhe über Meer und ergibt im schweizerischen Durchschnitt etwa 0.34 mSv/Jahr, wobei die Werte je nach Höhe über Meer zwischen 0.25 und 0.9 mSv/Jahr liegen.

Im Körper eingebaute Radionuklide ergeben im Durchschnitt 0.38 mSv/Jahr mit einem Wertebereich, der zwischen 0.2 und 0.5 mSv/Jahr liegen dürfte; der Hauptbeitrag kommt vom Kalium-40, das 0.12 Promille des in der Natur vorkommenden Kaliums ausmacht. Dieses befindet sich vor allem im Muskelgewebe.

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 mSv/Jahr und bei der Nuklearmedizin bei 0.01 mSv/Jahr. Die Strahlendosen im einzelnen hängen von Häufigkeit und Art der Untersuchungen ab, und dürften bis 30 mSv/Jahr (Röntgendiagnostik) bzw. bis 80 mSv/Jahr (Nuklearmedizin) betragen.

Die Auswirkungen des **Reaktorunfalles Tschernobyl** sind in unserem Lande immer noch messbar, führen jedoch nur noch zu geringen Strahlendosen, hauptsächlich durch auf dem Boden abgelagertes, bzw. über die Nahrung aufgenommenes Caesium-137. Gesamthaft beträgt die Strahlendosis der Schweizer Bevölkerung durch Tschernobyl im Durchschnitt etwa ein halbes mSv. Davon ist bis Ende 1989 bereits 80% akkumuliert. Die Dosen der meistbetroffenen liegen etwa zehn mal höher. 1989 und 1990 dürfte die mittlere externe und interne Strahlendosis durch Tschernobyl noch bei je etwa 0.01 mSv/Jahr liegen.

Die Auswirkungen der **Kernwaffenversuche** der 50er- und 60er-Jahre führten 1989 und 1990 noch im Mittel zu Strahledosen unter 0.01 mSv/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 mSv/Jahr kaum übersteigen.

Die aus den **Abgaben der Kernkraftwerke** berechneten Strahlendosen der Bevölkerung in der Nahumgebung betragen, auch bei Annahme ungünstigster Voraussetzungen bezüglich Aufenthalt im Freien und Lebensmittelverzehr, höchstens etwa 0.03 mSv/Jahr.

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

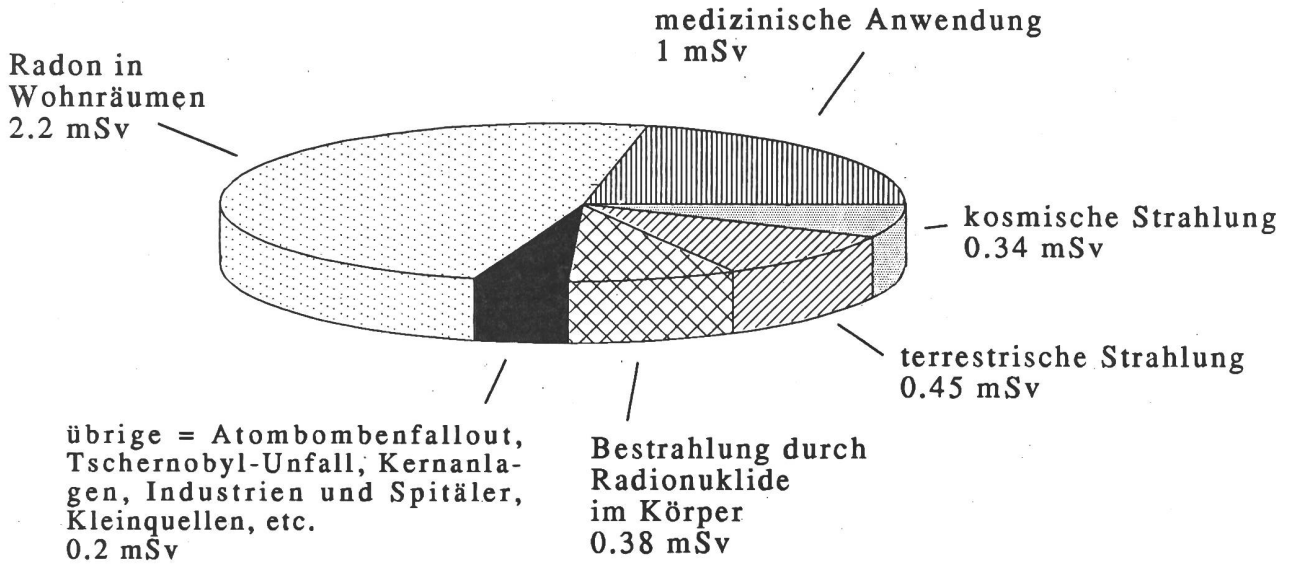
Die **beruflich strahlenexponierten Personen** in Kernkraftwerken, Industrien, Forschung und Medizin (zusammen rund 55'000) erhielten 1989 und 1990 Dosen bis maximal 30 mSv/Jahr; bei 95 % lag die Werte jedoch unter 1 mSv/Jahr. Die durchschnittliche Personendosis liegt bei 0.31 (1989) resp. 0.23 (1990) mSv/Jahr.

Von der **gesamten durchschnittlichen Strahlenexposition** der Schweizer Bevölkerung von rund 4.6 mSv/Jahr stammt etwa die Hälfte vom Radon und seinen Folgeprodukten 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 mSv/Jahr.

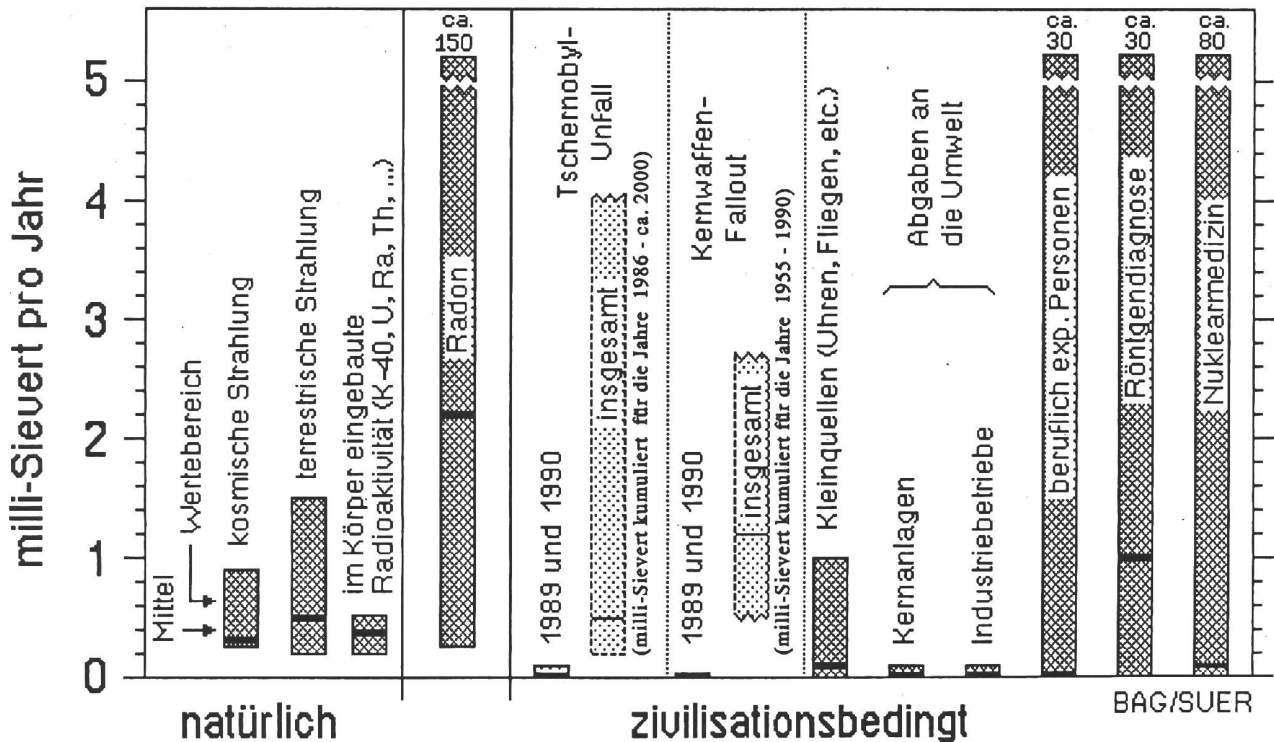
8. Verdankungen

Die Angaben in diesem Bericht basieren auf den Messungen und Arbeiten der auf Seite III und IV 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 Schreivarbeiten und Herrn A. Gurtner für die graphischen Darstellungen.

DURCHSCHNITTliche JÄHRLICHE EFFEKTIVE DOSIS DER SCHWEIZER BEVÖLKERUNG IN MILLI-SIEVERT 1989 UND 1990



Wertebereich und durchschnittliche, jährliche effektive Dosis der Schweizer Bevölkerung für 1989 und 1990



A. RESUME

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

Introduction

Ce rapport récapitule les mesures de radioactivité 1989/1990 effectuées en Suisse et présente les doses d'irradiation qui en résultent. Il rend compte de la radioactivité naturelle et de celle dans les denrées alimentaires. L'exposition au radon dans les maisons, l'impact des rejets de radioactivité par les installations nucléaires et autres entreprises ainsi que la contribution des sources additionnelles d'irradiation y sont également traités.

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.

Des sources de rayonnement, comme par exemple le rayonnement direct d'une centrale nucléaire, ne doivent causer en aucun lieu accessible, situé hors du terrain clôturé, un débit de dose ambiante supérieur à 0.1 mSv/semaine. Compte tenu du séjour limité de personnes en ces endroits, les doses du public qui en résultent n'en constituent en réalité qu'une fraction.

Quant à la concentration du radon dans les maisons, il n'existe encore aucune prescription en Suisse; une réglementation en rapport à ce domaine doit être introduite dans le cadre de la nouvelle ordonnance, actuellement en élaboration, concernant la protection contre les radiations.

A la suite de l'accident au réacteur de Tchernobyl, le Conseil fédéral a limité la somme des concentrations de césium-134 et de césium-137 dans une "ordonnance sur les concentrations des nucléides radioactifs dans les denrées alimentaires" du 8 septembre 1986 comme suit: sont incriminés, 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 dans ce rapport en Becquerel (Bq), avec 1 Bq = 1 désintégration radioactive par seconde. Les préfixes milli-, micro et nano (m, μ , n) signifient respectivement un millième, un millionième et un milliardième.

Les doses annuelles d'irradiation sont indiquées en mSv et correspondent aux **doses effectives** conformément aux recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR). Elles sont dérivées de l'énergie du rayonnement absorbée dans le tissu humain ou l'organe (**dose absorbée** mesurée en Gray; 1 Gy = 1 Joule/kg). La dose équivalente pour l'organe irradié s'obtient après multiplication par le facteur de pondération spécifique du rayonnement (20 pour les émetteurs alpha; 5-20 pour les neutrons; 1 pour les autres rayonnements). L'irradiation globale, appelée dose effective, résulte de la sommation des doses aux différents organes selon une pondération tenant compte de leur radiosensibilité (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 avec la dose effective 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, par ingestion d'eau ou d'aliments, et y provoque l'irradiation de certains organes ou du corps entier. L'estimation de la dose externe se base sur la mesure de la dose ionique dans l'air exprimée anciennement en Roentgen. Dans ce rapport la correspondance 1 R = 0.01 Sv (resp. 1 micro-R/h = 10 nano-Sv/h) est utilisée. La conversion de la dose ambiante mesurée en dose à l'individu qui séjourne à l'endroit de mesure dépend en outre de l'énergie et de l'angle d'incidence de la radiation. Il s'ensuit un facteur de conversion supplémentaire moyen de 0.8. (c.à-d. 1 R $\hat{=}$ 0.008 Sv).

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 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. Radon et descendants

Le radon dans les maisons constitue la contribution majeure de l'exposition de la population aux rayonnements avec une dose effective moyenne de 2,2 mSv/an (valeurs extrêmes jusqu'à 150 mSv/an). Le gaz rare radon, un produit de désintégration du radium naturellement présent dans le sol, peut s'accumuler dans les maisons; ses descendants causent après inhalation une irradiation du poumon et peuvent de ce fait être à l'origine d'un accroissement du risque de cancer du poumon.

Les enquêtes réalisées jusqu'à présent en Suisse concernent près de 4000 séjours et 1700 caves; elles ne sont pas encore terminées. Après correction selon le type de maison, la dis-

tribution régionale de la population et la différence été-hiver, les mesures dans les séjours indiquent pour le gaz radon une moyenne arithmétique de 66 Bq/m^3 . 90% des valeurs sont inférieures à 150 Bq/m^3 ; les valeurs extrêmes atteignent cependant quelques milliers de Bq/m^3 . Par rapport aux maisons à plusieurs familles, les valeurs sont en moyenne 1.5 fois plus élevées dans celles à une famille, resp. 3 fois plus élevées dans les fermes. Aux étages supérieurs, les concentrations s'avèrent quelque peu plus basses qu'aux étages inférieurs. Lorsque les valeurs sont élevées dans la cave, elles le sont en général également dans les pièces d'habitation. Les valeurs dans les anciennes constructions sont habituellement plus élevées que dans les constructions récentes. De même, la concentration dans les bâtiments en granite ou en pierre naturelle est supérieure à celle dans les habitations en brique, en béton ou en bois. En hiver, les concentrations sont un tiers plus élevées dans les maisons à plusieurs familles et presque doubles dans les maisons à une famille et les fermes par rapport à l'été.

Les moyennes arithmétiques les plus élevées ont été mises en évidence dans les Alpes (canton des Grisons) et dans le Jura (canton de Neuchâtel). Plusieurs autres régions des Hautes Alpes, des Préalpes et des Alpes du sud ainsi que du Jura ont également présenté des valeurs supérieures à la moyenne nationale. Les valeurs les plus basses ont été enregistrées en plaine et dans les villes. Les nouvelles études se consacrent prioritairement, d'une part aux régions qui ont présenté jusqu'alors des valeurs accrues, d'autre part à celles où l'on peut s'attendre à des valeurs plus élevées sur la base des critères géologiques. Des mesures d'assainissement au niveau de la construction sont prévues dans les maisons avec des valeurs extrêmement élevées. Les directives concernant l'assainissement sont en préparation.

Dans le cadre du programme national de recherche sur le radon, RAPROS, des études spéciales sur la provenance et la diffusion du radon ont été effectuées sous la coordination de l'Office fédéral de la santé publique. Elles ont montré entre autres que dans notre pays ni l'eau potable, ni les matériaux de construction ne contribuent à une augmentation significative du niveau du radon dans les maisons. Par contre la teneur en radium du sous-sol, le radon à l'état libre dans le sol, et surtout la perméabilité du sol vis-à-vis du gaz radon sont déterminants. En outre des caractéristiques architecturales au niveau de l'isolation et de la ventilation jouent un rôle important. Ainsi l'effet cheminée, c'est-à-dire la montée de l'air chaud dans la maison peut "aspirer" le radon des caves et du sous-sol. Des études supplémentaires ont indiquées - en désaccord avec des présomptions antérieures - que les mesures d'isolation thermique des bâtiments destinées à l'économie d'énergie n'entraînent en moyenne pas une augmentation du niveau de radon. L'enrichissement en radon dû à l'isolation serait compensé par la diminution de l'effet de cheminée.

Un projet spécial a concerné l'étude de l'origine du radon dans le Jura. En dépit de l'opinion largement répandue de la faible radioactivité naturelle dans cette région, des teneurs en radon souvent élevées ont été mesurées à l'intérieur des

maisons. L'étude a révélé pour la partie ouest du Jura une importante anomalie en radium d'origine naturelle. La couche supérieure du sol présente une teneur en radium nettement plus élevée que ne le laissait escompter la roche sous-jacente. En outre le sous-sol jurassien est fortement fracturé, ce qui accroît sa perméabilité pour le gaz radon. Cela explique certaines teneurs en radon très élevées observées en particulier dans des maisons individuelles et des fermes de cette région.

Des essais d'assainissement ont été entrepris jusqu'à présent dans cinq maisons présentant des concentrations élevées de radon; la méthode de ventilation du sous-sol combinée avec des améliorations au niveau de l'étanchéité du plancher s'est révélée très efficace et a permis une nette réduction du niveau de radon.

4. Surveillance générale de la radioactivité de l'environnement

La surveillance générale a pour objectif de recenser la radioactivité artificielle répartie sur l'ensemble de notre territoire, comme par exemple les retombées des essais nucléaires passés ou de l'accident au réacteur de Tchernobyl, tout en mesurant également les radionucléides naturels.

Pour les années couvertes par ce rapport, l'activité artificielle dans les **précipitations et dans l'air** s'est en général avérée très basse et parfois même plus décelable. En ce qui concerne la surveillance de l'air, la limite de détection a pu être améliorée grâce à l'acquisition de nouveaux collecteurs permettant de mesurer dans le domaine du micro-Bq/m³. La teneur en tritium dans les précipitations des stations non influencées par des rejets a légèrement diminué et se situe en dessous de 7 Bq/litre dans les échantillons mensuels. Quant aux gaz nobles radioactifs, les mesures effectuées à Berne ont donné en moyenne une teneur en krypton-85 dans l'air de 1 Bq/m³, alors que pour l'argon-37 les valeurs ont fluctué entre 0.6 et 6 Bq/m³. Leur contribution à la dose d'irradiation est insignifiante. Pour le carbone-14 présent dans l'air, on note une diminution de la part artificielle provenant des essais nucléaires passés; elle constitue encore près de 16% de la contribution naturelle.

Dans les échantillons de **terre, d'herbe et de lait**, l'influence des retombées de Tchernobyl est restée décelable en particulier au Tessin au niveau du césium-134 et surtout du césium-137; outre la décroissance du césium, sa pénétration progressive dans les couches supérieures du sol en explique la diminution graduelle de la dose externe. En plus de ces nucléides, la seule autre contribution artificielle généralement décelable a incombé au strontium-90 provenant presque exclusivement de la retombée des essais nucléaires passés.

Dans le **milieu aquatique** (eaux superficielles et souterraines, poissons, plantes aquatiques et sédiments), la surveillance a indiqué la présence du césium issu de Tchernobyl dans les sédiments, les poissons et les plantes aquatiques; l'analyse des sédiments prélevés en aval des centrales nucléaires a mis en

évidence des contributions de leurs rejets liquides. Le contrôle des eaux superficielles a permis d'identifier du tritium provenant de la fabrication et de l'utilisation de peintures luminescentes. Aucun dépassement des valeurs directrices n'est à signaler.

La mesure de la radioactivité naturelle et artificielle présente dans le sol se base actuellement sur l'exploitation en routine de la **spectrométrie gamma in situ**. Cette méthode rend possible une rapide détermination sur place des composantes de la radioactivité du sol et de l'exposition externe du public qui en résulte. Les résultats concernant les deux années couvertes par ce rapport montrent que la part artificielle (attribuable en majeure partie au césium de Tchernobyl) constitue jusqu'à 50% de l'exposition externe au Tessin, 25% dans les Grisons et 10% dans les autres régions de la Suisse.

La surveillance automatique de l'exposition externe en Suisse repose depuis plusieurs années sur le **réseau NADAM** qui compte aujourd'hui 56 stations. La centrale à Zürich (Centrale nationale d'alarme) collecte les valeurs de mesure toutes les dix minutes, ce qui permet de déterminer rapidement une augmentation du débit de dose ambiante. Les résultats de ce réseau ont encore confirmé en 1989 et 1990 la contribution de Tchernobyl dans certaines stations principalement du Tessin. Cette contribution continue de diminuer progressivement. D'autres réseaux automatiques sont planifiés; l'un est destiné à la surveillance de la radioactivité des aérosols pour l'ensemble du territoire suisse et l'autre à la mesure des doses ambiantes dans le voisinage immédiat des centrales nucléaires.

Le contrôle de la radioactivité dans les **denrées alimentaires** se fait en étroite collaboration avec les laboratoires cantonaux. Dans les aliments de base, la radioactivité artificielle (césium-134, césium-137 et strontium-90) est minime et souvent inférieure aux limites de détection. En conséquence de l'accident de Tchernobyl, quelques catégories d'échantillons ont présenté des valeurs accrues de césium, parfois supérieures à 1000 Bq/kg de matière fraîche. Il s'agit de gibier et de champignons (surtout des chanterelles) importés, ainsi que de certaines espèces de champignons sauvages de notre pays, en particulier les bolets bails et les pholiotes ridées. En regard du taux de consommation moindre de ces aliments, les doses qui en résultent restent faibles. La contribution moyenne du césium présent dans les aliments peut être estimée en Suisse à moins de 0.01 mSv par an pour 1989 et 1990.

Les déterminations du strontium-90 dans les échantillons de l'environnement et de denrées alimentaires, ainsi que dans les vertèbres et les dents de lait du corps humain nécessitent une séparation radiochimique et sont de ce fait confiées à des laboratoires spécialisés. Le strontium-90 a un comportement semblable à celui du calcium, dont il est chimiquement très proche. C'est pourquoi, il est avant tout assimilé chez l'être humain dans les os et les dents. Les résultats des analyses strontium effectuées en 1989 et 1990 sont identiques à ceux antérieurs à Tchernobyl, dont la part strontium-90 ne représentait qu'un centième de la contribution de césium. Le strontium-90 ingéré avec l'alimentation occasionne une exposition interne inférieure à 0.01 mSv/an.

Ultime maillon de la chaîne des mesures de surveillance de la radioactivité, celles du **corps entier** servent à déterminer in vivo la teneur en césium dans le corps humain. Ces mesures permettent un contrôle de l'ingestion du césium, calculée à partir de l'alimentation, et de ce fait une vérification de l'exposition aux rayonnements qui en dérive. L'Institut Paul-Scherrer et l'hôpital cantonal de Genève effectuent régulièrement des mesures du corps entier. Les valeurs césium se sont situées le plus souvent en 1989 et 1990 entre 100 et 200 Bq par personne, ce qui occasionne des doses annuelles inférieures à quelques millièmes de mSv.

5. Rejets des centrales nucléaires

Les limites concernant les rejets des centrales nucléaires de Beznau, Gösgen, Leibstadt, Mühleberg ainsi que ceux de l'Institut Paul-Scherrer sont fixées dans les autorisations d'exploitation respectives, de telle sorte que la dose annuelle pour des personnes du voisinage de ces installations n'excède pas 0.2 mSv. Les exploitants sont également tenus de surveiller en permanence leurs **rejets de radioactivité** avec les effluents liquides et gazeux et d'en dresser le bilan. La Division principale de la sécurité des installations nucléaires contrôle ces données sur la base de ses propres mesures et calcule les doses maximales qui en résultent pour la population avoisinante. Pour les deux années couvertes par ce rapport, les installations nucléaires ont respecté les valeurs limites imposées et l'exposition aux rayonnements de la population de leur voisinage immédiat est restée inférieure à 0.03 mSv.

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 la Section de surveillance de la radioactivité (SUER) de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP). Outre le recensement des doses ambiantes en de nombreux sites, les programmes de mesures englobent également l'analyse de la radioactivité dans le sol, l'herbe, le froment, le lait et d'autres produits agricoles, mais aussi dans les eaux de rivières, les eaux souterraines, les poissons, les plantes aquatiques et les sédiments. A cela s'ajoutent les mesures in situ avec détecteur germanium portable, les vols aéroradiométriques et bien d'autres parcours de mesure.

L'ensemble des mesures de la radioactivité effectuées en 1989 et 1990 dans le voisinage des installations nucléaires n'a mis en évidence aucun dépassement des valeurs directrices de concentration ou de dose. Le rayonnement direct dans le voisinage immédiat des réacteurs à eau bouillante, la présence de produits d'activation dans les sédiments et les plantes aquatiques prélevés dans les rivières en aval des centrales ainsi que la teneur en carbone-14 dans les feuillages constituent les seuls indicateurs de l'influence en fait minime de l'exploitation de ces installations. Les répercussions sur l'exposition de la population aux rayonnements sont toutefois très faibles.

6. Rejets des industries et des hôpitaux

La manipulation des substances radioactives est soumise à autorisations délivrées par l'Office fédéral de la santé publique (OFSP). Ce dernier contrôle le secteur de la médecine, de la recherche et de la formation, alors que le contrôle de l'industrie, du commerce, des laboratoires analytiques ainsi que des entreprises correpondantes et des postes de l'administration publique relève de la Caisse nationale des assurances (CNA). Selon les cas, un bilan des rejets radioactifs peut également être exigé de la part de ces entreprises. Une surveillance de l'environnement (précipitations, eaux superficielles, sources, etc.) est effective dans le voisinage des entreprises traitant d'importantes quantités de substances radioactives; il s'agit par exemple des firmes Radium Chemie à Teufen/AR et MB Microtec à Niederwangen/BE, qui fabriquent des peintures luminescentes tritium, ainsi que de la ville de La Chaux-de-Fonds, où ces peintures sont utilisées dans l'industrie horlogère. Les rejets des hôpitaux des grandes agglomérations sont surveillés principalement au niveau de l'iode-131 utilisé lors des traitements de la glande thyroïde, au moyen d'analyses régulières des échantillons des stations d'épuration.

Les entreprises industrielles et les hôpitaux ont respecté en 1989 comme en 1990 les limites prescrites dans les autorisations d'exploitation concernant les rejets de substances radioactives dans l'environnement. Les mesures de la radioactivité dans le voisinage de ces entreprises, ainsi que dans les stations d'épuration des villes de Zurich, Bâle, Berne et Lausanne n'ont signalé aucune concentration illicite et les doses à la population avoisinante sont restées bien en-deçà des valeurs autorisées. Les mesures tritium dans l'urine des personnes résidant près d'une des entreprises qui traite ce nucléide ont donné des valeurs pour la dose correspondante jusqu'à 0.03 mSv/an.

7. Doses d'irradiation de la population

Si l'on excepte la contribution de Tchernobyl, les composantes individuelles de l'irradiation moyenne de la population suisse sont restées comparables à celles des années précédentes (cf. rapports de la CFSR).

La majeure partie de l'exposition aux rayonnements d'origine naturelle provient du **radon et de ses descendants**, avant tout dans les habitations. Selon les enquêtes actuelles effectuées dans les habitations suisses, le domaine des valeurs de cette contribution s'échelonne de 0.3 à 150 mSv/an pour des cas isolés. La moyenne arithmétique pondérée se situe à près de 2.2 mSv/an. L'objectif des mesures d'assainissement consiste à réduire l'exposition dans les maisons à très forte teneur en radon, en agissant au niveau de la construction.

La **radioactivité dans le sol et dans les matériaux de construction** occasionne en moyenne près de 0.45 mSv/an; le domaine des valeurs va selon le contenu en radionucléide de 0.2 à 1.5 mSv/an. Ces valeurs tiennent compte de la durée de séjour dans

les maisons et du blindage inhérent aux structures de construction. L'irradiation incombe aux séries naturelles de désintégration de l'uranium-radium et du thorium ainsi qu'au potassium-40.

La contribution gamma du **rayonnement cosmique** augmente avec l'altitude et représente en moyenne près de 0.34 mSv/an en Suisse; les valeurs s'échelonnent dans notre pays entre 0.25 et 0.9 mSv/an.

Les radionucléides assimilés dans le corps humain correspondent en moyenne à 0.38 mSv/an; le domaine des valeurs devrait s'étendre de 0.2 à 0.5 mSv/an. La contribution majeure incombe au potassium-40, qui constitue 0.12 pour mille du potassium présent dans la nature. Il est incorporé principalement dans le tissu musculaire.

En ce qui concerne les doses d'irradiation dues à des sources artificielles, la part provenant des **applications médicales** (p.ex. diagnostics aux rayons X et radionucléides utilisés en médecine nucléaire) prédomine. Sur la base des enquêtes antérieures, les valeurs moyennes à la population sont de l'ordre de 1 mSv/an pour les radiodiagnostic respectivement de 0.01 mSv/an pour la médecine nucléaire. Les doses d'irradiation dépendent selon les cas de la fréquence et du type d'examen et pourraient atteindre jusqu'à 30 mSv/an (radiodiagnostic) resp. jusqu'à 80 mSv/an (médecine nucléaire).

L'impact de l'**accident au réacteur de Tchernobyl** reste détectable dans notre pays, mais les répercussions au niveau de la dose d'irradiation sont cependant faibles. Elles incombent principalement au césium-137 déposé sur le sol, respectivement à son ingestion par l'alimentation. Globalement les retombées de Tchernobyl correspondent en moyenne pour la population suisse à une dose d'irradiation de l'ordre d'un demi mSv. 80% de cette dose a déjà été accumulée jusqu'à fin 1989. Les doses des personnes les plus touchées sont environ dix fois supérieures. Pour 1989 et 1990, on peut estimer à 0.01 mSv/an la dose d'irradiation moyenne externe et interne due à Tchernobyl.

Les doses d'irradiation consécutives aux **essais nucléaires** des années 50 et 60 sont en moyenne inférieures à 0.01 mSv/an pour les deux années couvertes par ce rapport.

Des **sources moindres** (utilisation de substances radioactives dans les biens de consommation comme p.ex. les montres) ainsi que le **tabac**, les **vols civils** etc. induisent des doses additionnelles difficiles à estimer. Leur somme ne devrait guère excéder 0.1 mSv/an en moyenne pour la population.

Les doses d'irradiation calculées à partir des **rejets des centrales nucléaires** pour la population avoisinante se chiffrent, même en admettant les conditions les plus défavorables concernant le séjour en plein air et les habitudes de consommation alimentaire, à près de 0.03 mSv/an au plus.

Les **rejets des industries et des hôpitaux** occasionent chez les habitants de leur voisinage des doses pour la plupart non me-

surables. Dans le voisinage des entreprises où des influences ont été décelées, les mesures ont indiqué des doses à la population avoisinante jusqu'à 0.03 mSv/an.

Les personnes professionnellement exposées aux radiations dans les centrales nucléaires, les industries, la recherche et la médecine (soit au total près de 55'000 personnes) ont reçu en 1989 et 1990 des doses jusqu'à 30 mSv/an au maximum; pour 95% d'entre elles, les valeurs sont toutefois restées inférieures à 1 mSv/an. La dose moyenne aux personnes se monte à 0.31 mSv/an en 1989, resp. à 0.23 mSv/an en 1990.

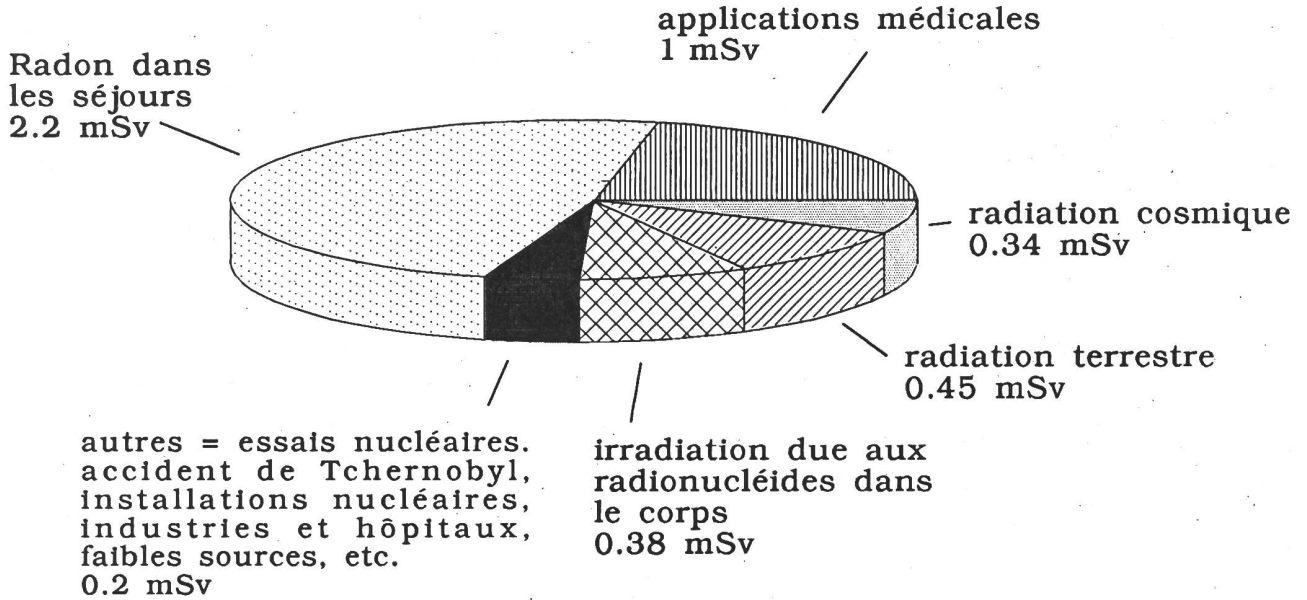
Sur près de 4.6 mSv/an, que constitue **l'exposition globale moyenne** de la population suisse, la moitié environ provient du radon et de ses descendants dans les maisons et presque un quart est attribuable à la médecine et aux autres sources artificielles. La contribution artificielle sans la part de la médecine est inférieure à 0.2 mSv/an.

Remerciements

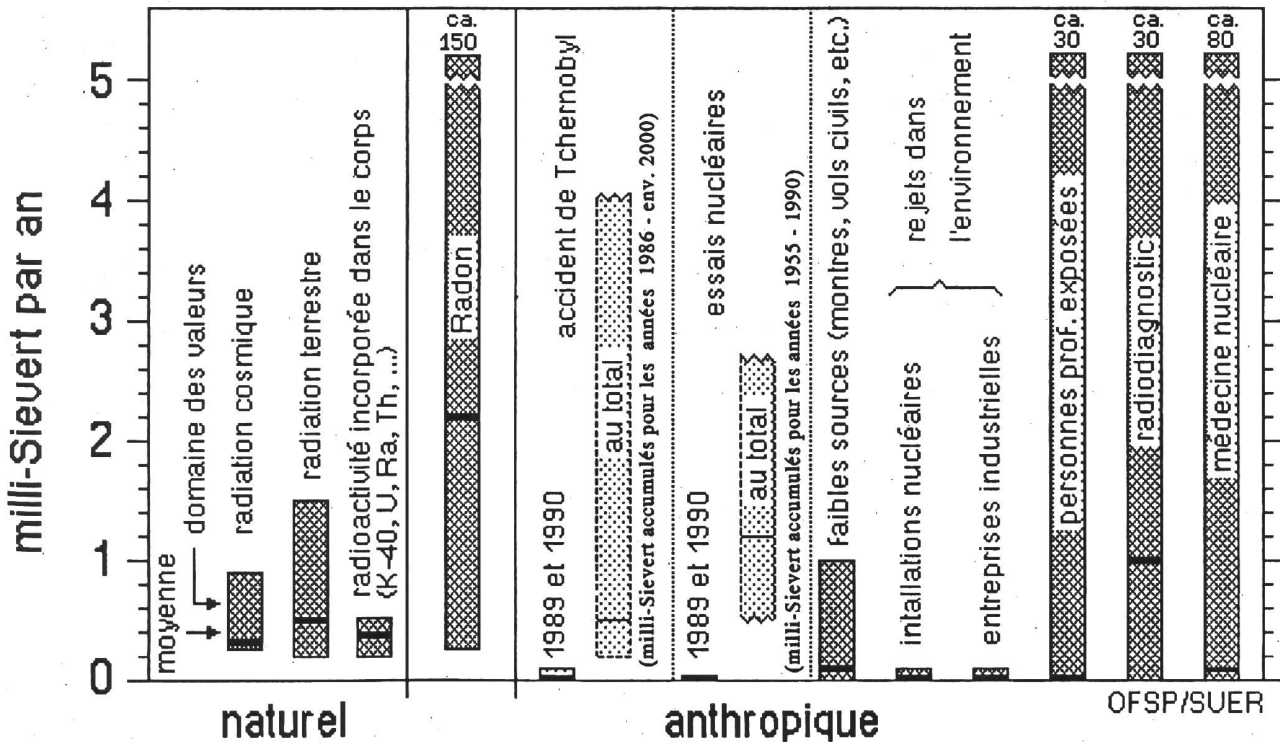
Les données de ce rapport se basent sur les mesures et les travaux des laboratoires et des institutions mentionnés en pages III et IV. Que tous les collaborateurs de ces services trouvent ici nos remerciements pour leur précieux travail! Nous remercions également Madame M. Gobet pour la dactylographie et Monsieur A. Gurtner pour les représentations graphiques. Les différents sujets sont traités en détail dans la partie B qui suit.

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

DOSE EFFECTIVE ANNUELLE MOYENNE DE LA POPULATION SUISSE EN MILLI-SIEVERT 1989 ET 1990



Domaine et moyenne des doses efficaces annuelles de la population suisse en 1989 et 1990



A. RIASSUNTO

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

Premessa

Il presente rapporto offre un riassunto della radioattività misurata in Svizzera negli anni 1989 e 1990 e delle dosi d'irradiazione che ne derivano. Vi sono prese in considerazione la radioattività naturale, la radioattività contenuta nelle derrate alimentari, l'esposizione alla radiazione derivante dal radon all'interno delle abitazioni e le ripercussioni della radioattività emanata dagli impianti nucleari, da altri impianti e da altre sorgenti radioattive.

1. Regolamentazione legale

Secondo l'articolo 107 dell'Ordinanza sulla radioprotezione del 30 giugno 1976 (una nuova ordinanza è attualmente in fase d'elaborazione) l'evacuazione di sostanze radioattive dalle aziende verso l'ambiente non deve condurre ad immissioni che causino, in caso d'esposizione continua attraverso l'aria respirata e l'acqua potabile, una dose annua superiore a 0,5 mSv ognuna.

Le sorgenti radioattive, segnatamente le radiazioni dirette di una centrale nucleare, non devono provocare, nei luoghi generalmente accessibili all'esterno dell'impianto, dosi ambiente superiori a 0,1 mSv per settimana. Considerando la durata di permanenza di persone in questi luoghi, le dosi individuali che ne derivano corrispondono soltanto ad una piccola parte di tale cifra.

Per quanto riguarda la concentrazione del radon all'interno delle case, non esistono ancora in Svizzera prescrizioni legali; nel quadro della nuova ordinanza sulla radioprotezione si prevede di regolare anche questo punto.

Dopo l'incidente nel reattore di Cernobil, il Consiglio federale ha fissato come segue in un'"Ordinanza sulla concentrazione di nuclidi radioattivi nelle derrate alimentari" dell'8 settembre 1986 i limiti massimi della concentrazione totale dei due nuclidi Cesio 134 e Cesio 137: nello stato pronto al consumo, il latte, la panna, le conserve di latte e gli alimenti per bambini con più di 370 Bq/kg e le altre derrate alimentari con più di 600 Bq/kg non sono più ammessi alla libera circolazione.

2. Unità di misura della radioattività e dell'irradiazione

L'unità applicata nel presente rapporto per descrivere gli esiti del controllo della radioattività è il becquerel (Bq); 1 Bq corrisponde ad una disintegrazione radioattiva al secondo. I prefissi milli-, micro- e nano- (m, μ , n) indicano un millesimo, un milionesimo e un miliardesimo dell'unità.

Le dosi d'irradiazione sono indicate, conformemente alle raccomandazioni della Commissione internazionale di radioprotezione (ICRP), come **dosi effettive** in mSv/anno. Il calcolo si fonda sull'energia d'irradiazione assorbita dal tessuto umano o dagli organi (**dose assorbita**, misurata in gray; 1 Gy = 1 joule/kg). Moltiplicandola per il fattore di ponderazione corrispondente al tipo di raggi in questione¹⁾, si ottiene l'equivalente di dose per l'organo di cui si tratta. L'irradiazione totale, detta dose effettiva, è data dalla somma delle dosi subite dai singoli organi ponderate a seconda della sensibilità di questi ultimi alla radioattività²⁾. Si ottiene così con la dose effettiva un'unità di valutazione indicativa dell'effetto biologico della radiazione sull'intero organismo umano e indipendente dal tipo e dalla provenienza della radiazione.

Nel determinare la dose d'irradiazione si distingue inoltre tra **l'irradiazione esterna**, proveniente da una sorgente all'esterno del corpo, e **l'irradiazione interna**, che si ha quando la radioattività penetra, con il cibo, l'acqua potabile o l'aria respirata, nell'organismo umano, da dove irradia singoli organi o l'intero organismo. Per determinare la dose esterna si parte dalla dose ionica misurata nell'aria (in passato l'unità applicata era il röntgen). In questo rapporto si applica la conversione approssimativa 1R = 0,01 Sv (rispettivamente 1 micro-R/h = 10 nano-Sv/h). Per dedurre dalla dose ambiente misurata, la dose d'irradiazione di una persona che si trattiene in un determinato luogo, bisogna per di più tener conto dell'energia e dell'angolo d'incidenza dei raggi. Si ottiene così un fattore di conversione medio di 0,8 (1 R $\hat{=}$ 0.008 Sv).

Le dosi d'irradiazione si dividono in **esposizione alle radiazioni naturali** (radiazioni terrestri e cosmiche e radioattività nel corpo umano) e **esposizione alle radiazioni artificiali** (ricadute delle bombe atomiche e dell'incidente di Cernobil, emanazioni degli impianti nucleari, dell'industria, degli ospedali, ecc., nonché altre applicazioni mediche e tecniche delle radiazioni e della radioattività).

3. Radon e prodotti del suo decadimento

Con una dose effettiva media di 2,2 mSv/anno e valori massimi sino a 150 mSv/anno, quello del radon nei locali abitati è il maggior contributo all'esposizione della popolazione all'irradiazione. Il gas raro radon, un prodotto della disintegrazione

1) 20 per i raggi alfa; da 5 a 20 per i neutroni; 1 per i rimanenti

2) 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 altri nove organi; 1% per la superficie delle ossa e per la pelle

del radio naturale presente nel suolo, può accumularsi all'interno degli edifici; attraverso la respirazione, i prodotti del suo decadimento causano un'irradiazione dei polmoni e aumentano possibilmente il rischio di cancro ai polmoni.

Le misure svolte finora in Svizzera riguardano 4000 locali abitati e 1700 cantine e non sono ancora concluse. La concentrazione media del gas radon - calcolata sulla base dei dati concernenti locali abitati, corretti dei fattori relativi al tipo di casa, alla distribuzione regionale della popolazione e alla differenza tra estate e inverno - è di 66 Bq/m^3 . Il 90% dei valori misurati sono inferiori a 150 Bq/m^3 ; i valori estremi raggiungono tuttavia alcune migliaia di Bq/m^3 .

Nelle case contadine, i valori sono in media tre volte superiori a quelli delle case plurifamiliari, nelle case unifamiliari li superano di 1,5 volte. Nei piani superiori la concentrazione è leggermente più bassa che non in quelli inferiori. Se i valori sono elevati nella cantina, lo sono solitamente anche nei locali abitati. Negli edifici vecchi si registrano il più delle volte valori superiori a quelli degli edifici di recente costruzione; la concentrazione del radon è inoltre più alta negli edifici di granito o di pietra di cava che non in quelli di mattone, cemento o legno. In inverno le concentrazioni superano quelle estive di un terzo (nelle case plurifamiliari), rispettivamente ne raggiungono quasi il doppio (case unifamiliari e contadine).

Le medie aritmetiche più elevate sono state riscontrate nelle Alpi (Canton Grigioni) e nel Giura (Canton Neuchâtel). Erano superiori alla media svizzera anche le concentrazioni misurate in altre regioni delle Alte Alpi, delle Prealpi, del versante sud delle Alpi e del Giura. I valori più bassi sono quelli registrati nell'Altopiano e nelle città. Le analisi ancora previste riguardano in primo luogo le regioni nelle quali si sono sinora riscontrati valori particolarmente elevati o nelle quali gli studi geologici lasciano presumere tali valori. Per le case con concentrazioni estreme si prevedono provvedimenti di risanamento edilizio. Si stanno attualmente studiando valori indicativi per il risanamento.

Nel quadro del progetto nazionale di studio del radon, RAPROS, sono state svolte altre ricerche, coordinate dall'Ufficio federale della sanità pubblica, concernenti la provenienza e la diffusione del radon. Da tali ricerche risulta tra altro che nel nostro paese l'acqua potabile e i materiali di costruzione non contribuiscono sostanzialmente alla concentrazione del radon all'interno delle case. Sono invece determinanti il contenuto di radio del terreno di costruzione, il radon liberamente disponibile nel suolo e soprattutto la permeabilità di quest'ultimo per il gas radon. Sono inoltre di rilievo la densità delle strutture architettoniche e le correnti d'aria all'interno della casa; l'aria calda che vi sale può ad esempio causare un "effetto camino" per via del quale il radon è risucchiato dal suolo e dalla cantina verso i locali abitati. Da altre ricerche risulta che - contrariamente a quanto si supponesse in passato - l'isolamento termico degli edifici verso l'esterno, operato per risparmiare energia, non provoca in media alcun aumento della concentrazione del radon.

In un altro progetto si studia la provenienza del radon nel Giura, dove - contrariamente all'opinione diffusa che il Giura sia povero di radioattività naturale - si sono spesso misurate alte concentrazioni di radon nelle case. Dalle ricerche risulta per il Giura occidentale una vasta anomalia d'origine naturale della presenza di radio. Lo strato più alto del terreno presenta un contenuto di radio nettamente superiore a quello che si presumerebbe considerando la roccia sottostante. Il sottosuolo del Giura è inoltre fortemente soggetto a carsismo e quindi particolarmente permeabile per il gas radon. Sorgono perciò, soprattutto nelle case unifamiliari e contadine, concentrazioni di radon in parte assai elevate.

Sinora si è tentato di risanare cinque case con concentrazioni di radon particolarmente elevate. Quale metodo di risanamento ha fatto buona prova l'aerazione (generalmente attiva) del terreno di fondazione unita all'impermeabilizzazione del suolo; con questo sistema è stato ottenuto un netto calo del livello di concentrazione del radon.

4. Sorveglianza generale della radioattività

Lo scopo della sorveglianza generale della radioattività è quello di registrare la radioattività artificiale di vasta diffusione, ad esempio quella proveniente da esperimenti nucleari svolti in passato o dall'incidente nel reattore di Cernobil; si misurano anche i radionuclidi naturali.

Negli anni in rassegna la radioattività artificiale **nelle precipitazioni e nell'aria** era molto bassa e parzialmente non più misurabile. Per quanto riguarda la sorveglianza dell'aria, nuovi apparecchi di raccolta hanno consentito di migliorare la precisione di misura sino al campo detto "di basso livello" dell'ordine di grandezza di microBq/m^3 . Il contenuto di tritio delle precipitazioni nelle stazioni di misura non sottoposte ad influssi particolari è ancora leggermente calato; i campioni mensili presentano contenuti inferiori a 7 Bq/l . Dalle misure svolte a Berna dei gas nobili radioattivi cripto 85 e argon 37 nell'aria risultano una media di 1 Bq/m^3 per il primo e valori compresi tra $0,6$ e 6 mBq/m^3 per il secondo. Il loro contributo alla dose d'irradiazione è trascurabile. Per quanto concerne il carbonio 14 presente nell'aria, continua a diminuire il contributo artificiale derivante dagli esperimenti con armi nucleari, pari ancora al 16% circa di quello naturale.

Nei **campioni di terra, d'erba e di latte** del Canton Ticino, il cesio 134 e soprattutto il cesio 137 continuavano a testimoniare dell'influsso di Cernobil. Poiché il cesio penetra negli strati più profondi del terreno, rispettivamente si estingue, soltanto lentamente, il suo calo non è che graduale. Oltre a questi radionuclidi, l'unico nuclide artificiale ancora acceratabile era in genere lo stronzio 90 (proveniente quasi esclusivamente dalle ricadute delle bombe atomiche).

La sorveglianza dei **sistemi acquatici** (acque di superficie e della falda freatica, pesci, piante acquatiche e sedimenti) ha rivelato tra altro nei sedimenti, nelle piante acquatiche e

nei pesci ancora contribuiti di cesio provenienti da Cernobil; a valle delle centrali nucleari si sono riscontrati anche contributi delle emanazioni liquide di tali impianti e nelle acque di superficie si è trovato tritio proveniente dalla fabbricazione e dall'applicazione di vernici luminescenti. Non si è registrato alcun superamento dei valori limite.

Per misurare la radioattività artificiale e naturale presente nel suolo si ricorre oggi normalmente a **misure in situ con lo spettrometro gamma**. Questo metodo permette di determinare rapidamente sul posto le singole componenti della radioattività nel suolo e dell'esposizione all'irradiazione esterna che ne risulta. Le misure svolte nei due anni in rassegna indicano che la parte artificiale (proveniente in primo luogo da Cernobil) della dose d'irradiazione esterna all'aperto varia tra valori massimi del 50% nel Ticino, del 25% nei Grigioni e del 10% nel resto della Svizzera.

Per la sorveglianza automatica delle dosi d'irradiazione esterna la Svizzera dispone da alcuni anni della **rete NADAM**, composta di 56 stazioni. La centrale di Zurigo (Centrale nazionale d'allarme) rileva ogni dieci minuti le misure attuali ed è in grado di notare immediatamente un eventuale aumento dell'intensità della dose ambiente. Sebbene in graduale diminuzione, il contributo di Cernobil era ancora accertabile, nel 1989 e 1990, presso determinate stazioni, soprattutto nel Ticino. Si progettano altre reti automatiche di misura, segnatamente della radioattività degli aerosoli e delle dosi ambiente nelle vicinanze delle centrali nucleari.

Il controllo della radioattività delle **derrate alimentari** avviene in stretta cooperazione con i laboratori cantonali. La radioattività artificiale (cesio 134, cesio 137 e stronzio 90) contenuta nelle derrate alimentari più importanti è modesta, spesso inferiore al limite di misura. Valori elevati del cesio proveniente dall'incidente di Cernobil sono stati riscontrati ancora in singoli campioni di selvaggina importata, in determinati funghi selvatici domestici (soprattutto boleti dei castagni e agarici rugosi) e in funghi importati (soprattutto gallinacci). In singoli casi si è accertata in questi campioni una radioattività di anche oltre mille Bq/kg di sostanza fresca. Dato il modesto consumo di selvaggina e di funghi selvatici, le dosi d'irradiazione che ne derivano sono piccole. Nella media svizzera, il cesio contenuto complessivamente nelle derrate alimentari ha causato negli anni 1989 e 1990 meno di 0,01 mSv per anno.

Per determinare lo **stronzio 90** contenuto in campioni d'ambiente e di derrate alimentari nonché nelle vertebre umane e nei denti di latte è necessaria una separazione radiochimica e vi si procede perciò in laboratori specializzati. Fisiologicamente questo nuclide funziona in modo simile al calcio ed è perciò incorporato dall'organismo umano soprattutto nelle ossa e nei denti. Dalle misure dello stronzio 90 svolte in Svizzera nel 1989 e 1990 sono di nuovo risultati valori uguali a quelli registrati prima di Cernobil (la cui parte all'origine dello stronzio 90 è stata soltanto pari a un centesimo del contribu-

to alla presenza di cesio). Lo stronzio 90 assorbito con il cibo causa un'esposizione ad irradiazione interna inferiore a 0,01 mSv/anno.

Per il controllo finale, la sorveglianza della radioattività ricorre a **misure dell'intero organismo** con le quali si misura il contenuto di cesio nel corpo umano vivente. Simili misure permettono di verificare i calcoli del cesio assorbito con il cibo e di controllare così le dosi d'irradiazione che se ne deducono. Misure dell'intero organismo sono svolte regolarmente all'Istituto Paul Scherrer e all'Ospedale cantonale di Ginevra. Nel 1989 e 1990 si sono registrati sovente valori di cesio dell'ordine di 100 a 200 Bq per persona, che inducono dosi annuali di meno d'un millesimo di mSv.

5. Emanazioni delle centrali nucleari

I limiti delle emanazioni fissati nelle licenze d'esercizio delle centrali nucleari di Beznau, Gösgen, Leibstadt e Mühleberg e dell'Istituto Paul Scherrer sono stabiliti in modo tale che la dose d'irradiazione delle persone residenti nelle vicinanze non superi 0,2 mSv per anno. Le centrali nucleari sono tenute a controllare costantemente le **emanazioni di radioattività** nell'aria e nell'acqua di scarico e a redigerne il bilancio. La Divisione principale per la Sicurezza degli impianti Nucleari verifica tali dati per mezzo di misure proprie e calcola le dosi massime d'irradiazione della popolazione circostante che ne derivano. Nei due anni in rassegna, gli impianti nucleari non hanno oltrepassato i limiti stabiliti e l'esposizione della popolazione nelle prossime vicinanze è stata inferiore a 0,03 mSv.

Il **controllo in prossimità** degli impianti nucleari avviene in stretta cooperazione tra la Divisione principale per la Sicurezza degli impianti Nucleari, l'Ufficio federale della sanità pubblica (Sezione controllo della radioattività) e altri uffici. I programmi di misura includono, oltre all'intensità della dose ambiente in numerosi punti nei pressi degli impianti, anche la radioattività contenuta nel suolo, nell'erba, nei cereali, nel latte e in altri prodotti agricoli, come anche nell'acqua fiumana e della 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.

Dalle misure della radioattività svolte negli anni in rassegna nei pressi degli impianti nucleari non risultano concentrazioni o dosi superiori ai valori limite. Soltanto per quanto riguarda l'irradiazione diretta nelle immediate vicinanze di reattori ad acqua bollente, i sedimenti e le piante acquatiche dei fiumi a valle degli impianti e il contenuto di carbonio 14 delle foglie degli alberi rivelano influssi, seppur minimi, degli impianti nucleari. Le ripercussioni sull'esposizione della popolazione sono tuttavia modeste.

6. Emissioni industriali e degli ospedali

Per adoperare sostanze radioattive è necessaria una licenza. Le aziende che utilizzano sostanze radioattive sono sottoposte alla sorveglianza dell'Ufficio federale della sanità pubblica (medicina, ricerca e insegnamento), rispettivamente dell'INSAI (industria, commercio, artigianato, laboratori analitici, nonchè imprese e uffici corrispondenti dell'amministrazione pubblica); se necessario, è richiesto un bilancio delle emanazioni di sostanze radioattive. Per le aziende che lavorano con ingenti quantità di sostanze radioattive - ad esempio le ditte Radium-Chemie di Teufen/AR e MB-Microtec di Niederwangen/BE, che producono colori luminescenti al tritio, e quelle della città di La Chaux-de-Fonds che le adoperano nell'industria orologiera - si procede a controlli dell'ambiente circostante (precipitazioni, acque di superficie, sorgenti, ecc.). Le emanazioni degli ospedali nelle grandi città (si tratta soprattutto di iodio 131 adoperato nel trattamento terapeutico della tiroide) sono controllate per mezzo di prelievi regolari di campioni dagli impianti di depurazione delle acque.

Nel 1989 e 1990, aziende industriali ed ospedali si sono attenuti ai limiti d'emanazione di sostanze radioattive stabiliti nelle licenze. Le misure svolte nelle vicinanze di queste imprese e negli impianti di depurazione delle acque di Zurigo, Basilea, Berna e Losanna non hanno rivelato concentrazioni di radioattività superiori a quelle consentite e le dosi d'irradiazione che ne sono derivate per la popolazione erano ben al di sotto dei limiti ammessi. Dalle misure del tritio contenuto nell'urina di persone che abitano vicino ad un'azienda di lavorazione del tritio per la produzione di vernici luminescenti sono risultate dosi massime di 0,03 mSv/anno.

7. Dosi d'irradiazione della popolazione svizzera

Se si astrae dai contributi all'irradiazione dovuti all'incidente di Cernobil, le singole dosi medie di irradiazione non sono cambiate rispetto agli anni precedenti (vedi rapporto KUER).

Per quanto riguarda l'esposizione all'irradiazione naturale, il maggior contributo è quello **del radon** e dei **prodotti del suo decadimento**, soprattutto all'interno delle case. Secondo i rilevamenti svolti sinora nelle abitazioni svizzere, i valori sono compresi tra 0,3 e, in singoli casi, 150 mSv/anno; la media aritmetica ponderata è di 2,2 mSv/anno. Con provvedimenti di risanamento edilizio si mira a ridurre l'esposizione all'irradiazione nelle case che presentano concentrazioni di radon particolarmente elevate.

La radioattività contenuta nel suolo e nei materiali di costruzione provoca una dose media di circa 0,45 mSv/anno; a seconda del contenuto di nuclidi di radio, i valori variano tra 0,2 e 1,5 mSv/anno. Nel calcolarli si è tenuto conto della durata di permanenza all'interno della casa, rispettivamente dell'effetto schermante dovuto ai muri delle case. La radiazione proviene dalla catena naturale di decadimenti dell'uranio, del radio e del torio e dal potassio 40.

Il contributo (raggi gamma) della **radiazione cosmica** aumenta con l'altitudine. La media svizzera è di circa 0,34 mSv/anno, con valori compresi, a seconda dell'altitudine, tra 0,25 e 0,9 mSv/anno.

I radionuclidi incorporati nell'organismo provocano in media una dose di 0,38 mSv/anno; i valori sono probabilmente compresi tra 0,2 e 0,5 mSv/anno. Il contributo principale è quello del potassio 40, che costituisce il 0,12 per mille del potassio presente nella natura. Il potassio si trova soprattutto nel tessuto muscolare.

Per quanto riguarda le dosi d'irradiazione artificiali, la parte più importante è quella delle **applicazioni mediche** delle radiazioni (es. radiodiagnosi) e dei radionuclidi (es. medicina nucleare). Rilevamenti svolti in passato indicano una media di 1 mSv/anno per la radiodiagnosi e di 0,01 mSv/anno per la medicina nucleare. Le dosi individuali d'irradiazione dipendono dalla frequenza e dal tipo d'esame o trattamento; il massimo dovrebbe essere di 30 mSv/anno (radiodiagnosi), rispettivamente 80 mSv/anno (medicina nucleare).

Le ricadute **dell'incidente nel reattore di Cernobil** sono sempre ancora misurabili nel nostro paese, ma inducono soltanto ancora scarse dosi d'irradiazione, soprattutto attraverso il cesio 137 depositato sul suolo o assorbito con il cibo. In tutto, la dose media d'irradiazione subita dalla popolazione svizzera in seguito a Cernobil è di ca. mezzo mSv, di cui l'80% è già stato accumulato entro la fine del 1989. Le dosi d'irradiazione dei gruppi più colpiti sono circa dieci volte più alte. Le dosi d'irradiazione esterna e interna dovute a Cernobil nel 1989 e 1990 dovrebbero aggirarsi in media sui 0,01 mSv/anno ognuna.

Le ripercussioni degli **esperimenti con armi nucleari** degli anni '50 e '60 causano dosi d'irradiazione inferiori in media a 0,01 mSv/anno.

Le **sorgenti minori** (applicazione di sostanze radioattive in oggetti d'uso comune, come ad esempio gli orologi) nonché il **fumo, l'aviazione civile, ecc.** causano ulteriori dosi d'irradiazione soltanto difficilmente valutabili nel singolo caso. La somma di questi contributi non dovrebbe tuttavia superare, nella media della popolazione svizzera, 0,1 mSv/anno.

Anche se si ammettono i presupposti meno favorevoli per quanto riguarda la durata di permanenza all'aperto e il consumo di derrate alimentari, le dosi d'irradiazione della popolazione circostante dovute alle **emissioni di centrali nucleari** giungono al massimo a ca. 0,03 mSv/anno.

Le **emanazioni dell'industria e degli ospedali** causano un'irradiazione degli abitanti delle zone limitrofe generalmente troppo modesta per poter essere misurata. Nei casi in cui si sono registrati influssi misurabili sulle prossime vicinanze, le dosi massime d'irradiazione della popolazione circostante calcolate sul fondamento di tali misure erano di 0,03 mSv/anno.

Le persone particolarmente esposte all'irradiazione per motivi professionali nelle centrali nucleari, nell'industria e nell'ambito della ricerca e della medicina (circa 55'000 persone in tutto) hanno subito nel 1989 e 1990 dosi non superiori a 30 mSv/anno: il 95% dei valori è al di sotto di 1 mSv/anno. La dose individuale media è di 0,31 mSv/anno (1989), rispettivamente di 0,23 mSv/anno (1990).

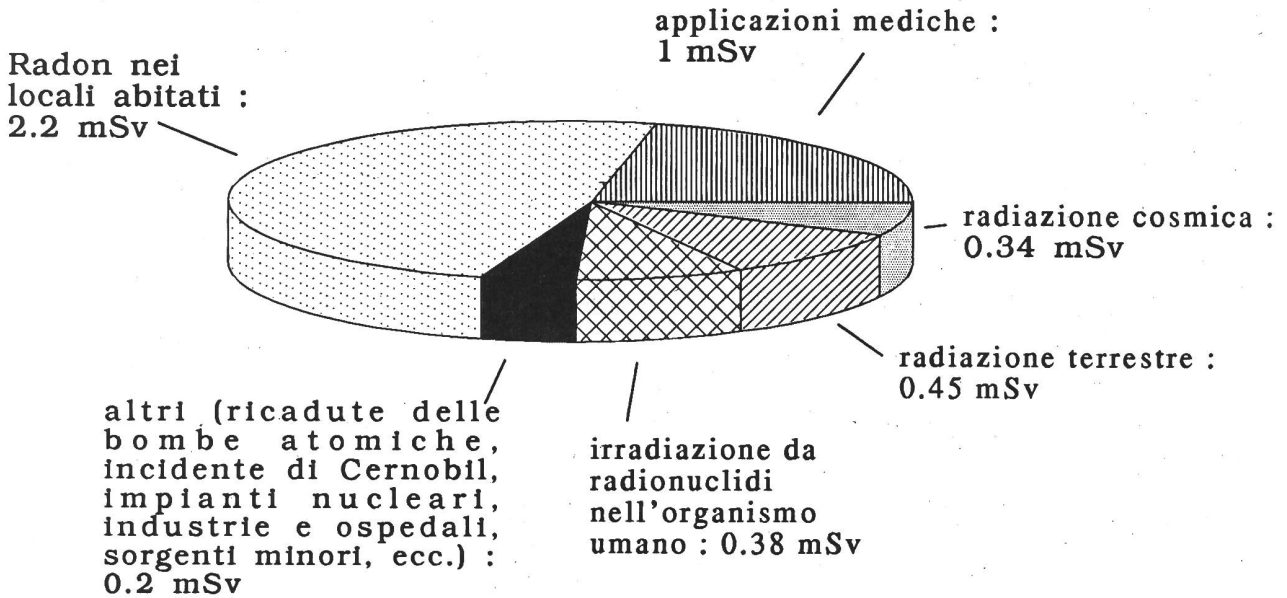
La metà circa dei 4,6 mSv/anno che costituiscono l'intera dose media d'irradiazione della popolazione svizzera è dovuta al radon e ai prodotti del suo decadimento all'interno delle case, un quarto alla rimanente radiazione naturale e un quarto circa alla medicina e alle altre sorgenti artificiali. Se si esclude la medicina, il contributo artificiale è inferiore a 0,2 mSv/anno.

8. Ringraziamenti

I dati indicati in questo rapporto si fondano su misure e lavori dei laboratori e degli uffici indicati alle pagine III e IV, che ringraziamo sentitamente per la loro collaborazione. I singoli argomenti sono trattati più in esteso nella parte B. Ringraziamo sentitamente anche la signora M. Gobet per la stesura del testo e il signor A. Gurtner per l'illustrazione grafica.

(Traduzione italiana: Claudia Forni-Degkwitz)

DOSE EFFETTIVA MEDIA ANNUALE DELLA POPOLAZIONE SVIZZERA 1989 E 1990 (IN MILLI-SIEVERT)



Dose effettiva: intervallo dei valore e media annuale della popolazione svizzera nel 1989 e 1990

