

# Verschiedenes

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera**

Band (Jahr): - **(1999)**

PDF erstellt am: **08.08.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## 10. Verschiedenes

### Medizinische Röntgendiagnostik - La Hague/F - Strahlendosen beim Fliegen

#### Zusammenfassung

(hv) Dieses Kapitel enthält Berichte über Themen ausserhalb des Routineüberwachungsprogrammes.

Die **Strahlendosis durch die medizinische Röntgendiagnostik** ist der grösste Beitrag zur Strahlenexposition aus künstlichen Strahlenquellen. Die bisher in diesem Bericht zitierte Erhebung stammte aus dem Anfang der 70er-Jahre und gilt als überholt. Man erwartet seither eher eine Abnahme der durchschnittlichen Dosis, da moderne Geräte mit Bildverstärker und geringerer Strahlenintensität arbeiten. Diese Abnahme dürfte jedoch durch den vermehrten Einsatz der Computertomographie teilweise kompensiert werden. Das BAG hat daher beim IRA in Lausanne eine neue Erhebung in Auftrag gegeben, deren Resultate im Kapitel 10.1 zusammengefasst sind. Sie ergibt, dass die durchschnittliche Strahlendosis der schweizer Bevölkerung aus röntgendiagnostischen Untersuchungen unverändert 1.0 mSv pro Jahr beträgt. Dieses Resultat liegt im Bereich der Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen anderer europäischer Länder. Das Kapitel gibt auch Aufschluss über die Häufigkeit der verschiedenen Untersuchungsarten, deren Anteil an der Kollektivdosis und die Verteilung der Kollektivdosis auf die einzelnen Altersklassen.

Schweizer Experten wirkten in einer internationalen Arbeitsgruppe mit, die zur Aufgabe hatte die radiologischen Auswirkungen **der französischen Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoff in La Hague (Nord-Cotentin)** umfassend zu beurteilen. Ein Kurzbericht ist in Kapitel 10.2 enthalten. Bemerkenswert ist, dass (erstmalig) eine solche komplexe Aufgabe in Zusammenarbeit aller beteiligter Stellen - Behörden und COGEMA einerseits - bzw. betroffener Kreise - private Laboratorien wie CRII-RAD, GREENPEACE und Bürgerorganisationen andererseits - bearbeitet werden konnte. Es ergab sich keine Evidenz, dass die Emissionen des Werkes zu einer Erhöhung der Leukämiefälle in der betroffenen Region geführt haben könnten. Im Vergleich mit allen andern Beiträgen zur Strahlenexposition beträgt der Anteil durch die Emissionen der Anlage La Hague zur Strahlenexposition der Bevölkerung nur ein Bruchteil eines Prozentes.

Die **Personendosis durch kosmische Strahlung bei Flugreisen** stösst in letzter Zeit auf immer grösseres Interesse. Kapitel 10.3 fasst den aktuellen Stand zusammen. Im Durchschnitt kann auf Reiseflughöhen mit einer Dosisleistung von etwa 5  $\mu$ Sv/h gerechnet werden; ein Flug Europa-Nordamerika ergibt somit eine zusätzliche Dosis von rund 0.04 mSv. Die rund 5000 Personen des Flugpersonals in der Schweiz (Frauenanteil 60%) akkumulieren pro Jahr etwa 3 mSv (dieser Wert dürfte auch für Vielflieger wie etwa Kuriere gelten). Die Kollektivdosis dieser Personengruppe liegt bei 15 Personen-Sv pro Jahr. Im Vergleich dazu liegt die Kollektivdosis des Personal der schweizer Kernkraftwerke (1999: 3823 Personen) bei 4.5 Personen-Sv mit einer mittleren Jahresdosis von 1.2 mSv. Neue bzw. noch laufende epidemiologische Studien zum Krebsrisiko und zur Mortalität von Flugpersonal ergeben noch kein eindeutiges Bild und erfordern weitere Untersuchungen.

## 10.1. Enquête sur l'exposition par le radiodiagnostic en Suisse <sup>\*)</sup>

A. Aroua <sup>1)</sup>, J.-P. Vader <sup>2)</sup> et J.-F. Valley<sup>1)</sup>

1) Institut de Radiophysique Appliquée, LAUSANNE

2) Institut Universitaire de Médecine Sociale et Préventive, LAUSANNE

### **Résumé**

*L'enquête décrite dans ce rapport s'inscrit dans la même ligne que les enquêtes précédentes effectuées en Suisse et a pour objectifs de déterminer les doses de radiation délivrées en Suisse par les divers examens radiologiques, de déterminer leur fréquence en fonction de l'âge et du sexe et de déduire l'impact global de la radiologie diagnostique sur la population suisse. La démarche suivie a consisté d'une part à déterminer, par enquête, les fréquences de plus de 250 types d'examens, couvrant les diverses modalités du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle. D'autre part, on a établi par modélisation, pour chaque type d'examen, la dose de radiation délivrée au patient. L'impact collectif du radiodiagnostic a été évalué par convolution de ces deux informations, en utilisant des modèles de risque appropriés.*

*Les résultats de l'enquête indiquent que près de 9'500'000 examens radiodiagnostiques sont pratiqués annuellement en Suisse (1.34 examen par habitant). En termes dosimétriques, les résultats de l'enquête révèlent que la dose effective annuelle moyenne par habitant est de 1.0 mSv et que la dose effective annuelle corrigée pour l'effet de l'âge du patient est d'environ 0.6 mSv par habitant. L'enquête a révélé également la distribution du nombre total d'examens et de la dose collective en fonction de la catégorie d'examens et d'établissements qui pratiquent le radiodiagnostic en Suisse. Elle a mis en évidence que la Suisse se situe au même niveau que les autres pays européens en termes de nombre d'examens et de dose collective.*

### **10.1.1 Introduction**

La dose moyenne à la population due à l'irradiation médicale est estimée, dans les pays industrialisés, à environ 1-2 mSv/an [1]. Elle représente la part la plus importante de l'irradiation artificielle et environ le quart de la dose totale reçue par la population. Depuis les années 1970, plusieurs pays ont organisé des enquêtes portant sur les fréquences des examens et les doses associées à ces examens. Le Comité Scientifique des Nations Unies sur les Effets des Radiations Atomiques (UNSCEAR) fournit dans ses rapports présentés régulièrement à l'Assemblée générale, une analyse extensive de la situation des expositions médicales, analyse basée sur des enquêtes entreprises auprès des États membres. La dernière enquête de l'UNSCEAR date de 1991 [1]. La Suisse a une longue tradition concernant les enquêtes sur le radiodiagnostic grâce aux divers travaux effectués par le Service de radiophysique de l'Hôpital de l'Isle à Berne de 1957 à 1990 [2, 3, 4, 5]. Cependant depuis la fin des années 70, aucune dose moyenne à la population, ou indicateur de risque radiologique, n'a été déterminée. Depuis cette date, la dose moyenne à la population a dû subir, et subira dans l'avenir, un changement sensible pour des raisons liées à l'évolution de la population, à l'indication de l'examen radiodiagnostique et aux techniques utilisées :

<sup>\*)</sup> Projet financé par l'Office Fédéral de la Santé Publique Contrat 316.96.0576

augmentation de la demande de soins (augmentation de la population) ; accès facilité aux soins (augmentation de la population urbaine) ; vieillissement de la population ; évolution de l'indication de l'examen radiodiagnostique, en particulier grâce au développement de modalités alternatives (endoscopie, ultrasons, imagerie par résonance magnétique) ; extension de certaines procédures comme la mammographie et la tomodensitométrie ; extension de la radiologie interventionnelle ; augmentation des sensibilités des couples film-écran ; évolution vers la radiologie digitale et introduction des contrôles de qualité exigés par la nouvelle ordonnance de radioprotection.

Dans ces conditions, une nouvelle détermination de l'impact global du radiodiagnostic sur la population s'est avérée judicieuse. L'enquête s'inscrit dans la même ligne que les précédentes et a pour objectifs principaux de déterminer les doses de radiation délivrées en Suisse par les divers examens radiologiques (radiodiagnostic et radiologie interventionnelle), de déterminer les fréquences des différents examens en fonction de l'âge et du sexe du patient, de déduire l'impact global de la radiologie diagnostique sur la population suisse, d'étudier la variation des pratiques médicales en ce qui concerne l'utilisation des examens radiologiques et de formuler, le cas échéant, des recommandations en vue de réduire les doses.

L'enquête a été conduite, sous l'égide de l'Office fédéral de la santé publique, par l'Institut de radiophysique appliquée (IRA) à Lausanne en association avec l'Institut universitaire de médecine sociale et préventive (IUMSP) à Lausanne. L'Institut de radiophysique de l'Hôpital de l'Isle à Berne et le Service de Radiodiagnostic du Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV) à Lausanne, ont fourni une expertise sur plusieurs aspects de l'enquête : définition des examens et élaboration de valeurs typiques pour les paramètres techniques, exploitation des données recueillies lors des enquêtes précédentes, etc. En outre, l'enquête a été suivie de près par un groupe d'accompagnement présidé par l'Office fédéral de la santé publique et composé de représentants des principales sociétés médicales suisses.

### **10.1.2 Matériel et méthodes**

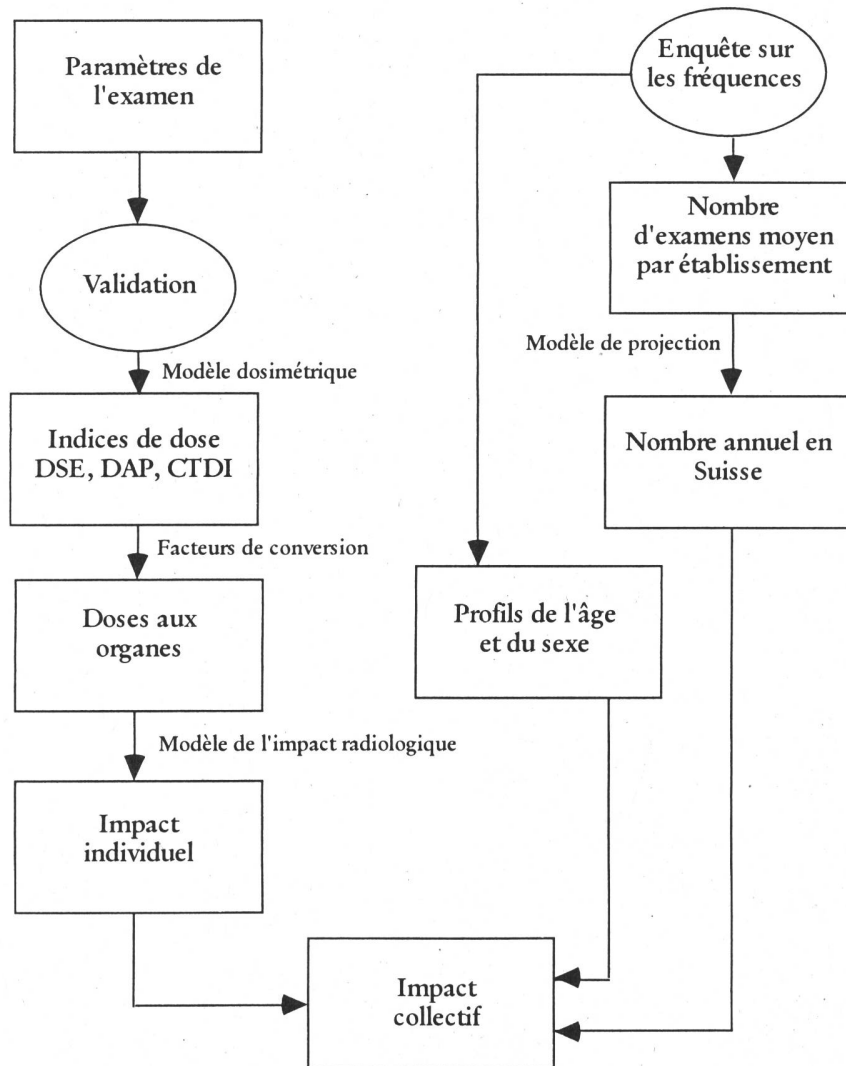
La démarche suivie dans l'enquête consiste d'une part à déterminer les fréquences des divers types d'examens, et d'autre part à établir pour chaque type d'examen la dose de radiation délivrée au patient. L'impact collectif du radiodiagnostic est évalué par convolution de ces deux informations, en utilisant des modèles de risque appropriés. Les grandes lignes de l'enquête sont précisées à la figure 1.

Les grandeurs de base considérées sont les indices dosimétriques déterminés à partir des paramètres des examens sur la base de modèles dosimétriques. Ces modèles nécessitent une caractérisation précise de chaque examen. La caractérisation est effectuée au départ sur la base des données recueillies au Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV) ; elle est ensuite vérifiée par un référent pour chaque spécialité médicale et validée par une enquête couvrant un échantillon de cabinets ainsi que plusieurs hôpitaux universitaires. Les indices de dose (DES : dose en surface à l'entrée, DAP : produit dose-surface, CTDI : indice de dose de tomodensitométrie) sont convertis en doses aux organes et en dose effective au moyen de facteurs de conversion tirés de la littérature et adaptés aux situations particulières. L'enquête sur les fréquences des examens, portant sur un plus grand échantillon, fournit des informations sur la distribution des fréquences des divers types d'examens en fonction de l'âge et du sexe du patient. Elle permet d'établir leurs répartitions par spécialité médicale, par type d'établissement et par région géographique. Les variations saisonnières sont étudiées sur la base de statistiques mensuelles fournies par un échantillon de cabinets



médicaux et d'hôpitaux pour l'année 1998. Enfin, l'impact radiologique individuel et l'impact collectif du radiodiagnostic sont évalués sur la base de modèles appropriés, établis conformément à l'état actuel des connaissances en la matière.

Une liste de 257 examens a été établie dans le but d'avoir une définition aussi fine que possible. Ces examens sont répartis sur plusieurs grandes catégories : graphie, graphie et scopie, angiographique, radiologie interventionnelle, tomodensitométrie, mammographie, minéralométrie, tomographie conventionnelle et radiologie dentaire.



**Figure 1** Méthodologie de l'enquête

L'ensemble des établissements qui prescrivent et réalisent des examens radiodiagnostiques en Suisse a été réparti en quatre grandes catégories :

- 1) les 11 grands hôpitaux ayant plus de 500 lits (ci-après notés hôpitaux A), pour lesquels une statistique annuelle détaillée a été demandée;
- 2) les hôpitaux de moins de 500 lits (ci-après notés hôpitaux B), qui ont participé à une enquête de quinze jours;
- 3) les cabinets médicaux, dentaires et de chiropratique, qui ont participé à une enquête de quinze jours (une semaine pour les médecins dentaires);
- 4) les services particuliers (médecine scolaire, pénitentiaire, militaire, etc.), pour lesquels une statistique annuelle globale a été demandée.

Près de 2300 cabinets ont été sollicités, couvrant toutes les spécialités médicales pratiquant le radiodiagnostic. Le collectif des médecins a été échantillonné à un taux de 20% dans le cas de la médecine de premier recours. Il a été pris intégralement pour toutes les spécialités médicales. Outre les cabinets médicaux, d'autres catégories pratiquant le radiodiagnostic ont été sollicitées : cabinets de chiropratique, cabinets dentaires, instituts dentaires, services dentaires scolaires, services aux frontières, hôpitaux A (plus de 500 lits), hôpitaux B (moins de 500 lits), prisons et ligues contre les maladies pulmonaires. Les médecins dentistes ont été échantillonnés à un taux de 10%. Le collectif total a été considéré pour toutes les autres catégories. Une stratification géographique des cabinets a été effectuée en adoptant le modèle le plus récent de régionalisation de la Suisse qui comprend sept régions.

Le questionnaire envoyé aux participants s'articule autour de trois axes portant sur:

- a) l'équipement, c'est-à-dire l'installation radiologique et les films utilisés;
- b) les examens radiologiques ; il s'agissait d'enregistrer, pour chaque examen effectué dans la période de l'enquête, le type de l'examen, l'âge et le sexe du patient, ainsi que de répondre à trois questions annexes concernant l'indication de l'examen: affection, objectif de l'examen et sévérité du cas; et
- c) la statistique annuelle pour 1997 concernant le nombre d'examens par type.

La procédure de convolution des données consiste à combiner l'ensemble des grandeurs établies par l'enquête en vue d'évaluer une grandeur qui quantifie l'impact radiologique du radiodiagnostic. Seules les données qui entrent en compte dans l'évaluation de l'impact sont considérées. Leur liste est indiquée ci-après:

Pour établir la dose collective, une convolution des résultats fréquentiels et dosimétriques est entreprise. La dose équivalente collective corrigée pour l'âge selon le modèle (n),  $H^*_{col}$ , délivrée à un organe (k) par l'examen de type (i) et par la spécialité (j) s'exprime comme suit:

$$H^*_{col}(k, i, j, n) = \sum_{l,m} H(k, i, l) \times N(i, j) \times A(i, j, l, m) \times C(i, l, m) \times F_S(i) \times K(k, l) \times F(m, n) \\ = N(i, j) \times F_S(i) \times \sum_{l,m} H(k, i, l) \times A(i, j, l, m) \times C(i, l, m) \times K(k, l) \times F(m, n)$$

où:

1. *Le nombre annuel d'examen N* qui est une fonction du type d'examen (i) et de la catégorie d'établissement ou spécialité médicale (j) :  $N(i, j)$
2. *La dose équivalente à l'organe* qui est une fonction de l'organe (k), du type d'examen (i) et du sexe (l) :  $H(k, i, l)$
3. *La fraction d'examens par catégorie d'âge* qui est une fonction du type d'examen (i), de la catégorie d'établissement ou spécialité médicale (j), du sexe (l) et du groupe d'âge (m) :  $A(i, j, l, m)$
4. *La correction, le cas échéant, pour la sensibilité du couple film-écran* qui est une fonction du type d'examen (i) :  $F_S(i)$
5. *La correction pour la corpulence du patient* qui est une fonction du type d'examen (i), du sexe (l) et du groupe d'âge (m) :  $C(i, l, m)$
6. *La correction pour l'âge* qui est une fonction du groupe d'âge (m) et du modèle de risque radiologique adopté (n) :  $F(m, n)$
7. *La radiosensibilité de l'organe* qui est une fonction de l'organe (k) :  $W(k)$
8. *L'existence de l'organe* qui est une fonction de l'organe (k) et du sexe (l) :  $K(k, l)$

La dose effective collective corrigée pour l'âge selon le modèle (n),  $E^*_{col}$ , délivrée par l'examen de type (i) et par la spécialité (j), s'écrit comme suit :

$$E^*_{col}(i, j, n) = \sum_k H^*_{col}(k, i, j, n) \times W(k)$$

### 10.1.3 Résultats

#### 1. Résultats intégraux

Comme le montre le tableau 1, l'enquête a révélé que près de 9.5 millions d'examens radio-diagnostiques sont pratiqués annuellement en Suisse, soit 1.34 examen par habitant. Ceci correspond à une dose collective annuelle de l'ordre de 7300 Sv, soit une dose effective annuelle moyenne par habitant de l'ordre de 1.03 mSv.

**Tableau 1** Résultats fréquentiels et dosimétriques intégraux

	collectif (x10 <sup>6</sup> )	par habitant
Nombre annuel moyen d'examens	9.5	1.34
Dose annuelle moyenne (mSv)	7.3	1.03

#### 2. Répartition par catégorie d'examens

Le tableau 2 présente la répartition du nombre annuel d'examens et de la dose collective sur les différentes catégories d'examens. On constate qu'en termes de nombre d'examens, ce sont les examens de radiographie et les examens dentaires qui ont la plus forte contribution au nombre total (47% et 42% respectivement). L'ensemble des autres modalités ne représente que 11% du total. En termes de doses, ce sont les examens de radiographie, de tomodensitométrie et de fluoroscopie conventionnelle qui contribuent le plus au nombre total (41%, 27% et 17% respectivement). L'ensemble des autres modalités ne représente que 15% du total.

**Tableau 2** Nombre annuel d'examens et dose collective en mSv (arrondis) par catégorie d'examens

Catégorie	Nombre annuel	Fraction (%)	Dose collective	Fraction (%)
Radiographie	4'500'000	47	3'000'000	41.2
Radiologie dentaire	4'000'000	42	72'000	1.0
Tomodensitométrie	300'000	3.2	2'000'000	27.1
Mammographie	200'000	2.1	87'000	1.2
Radiographie et fluoroscopie : conventionnel	150'000	1.6	1'300'000	17.5
Radiographie et fluoroscopie : angiographie	70'000	0.7	560'000	7.7
Radiographie et fluoroscopie : interventionnel	30'000	0.3	260'000	3.6
Ostéodensitométrie	30'000	0.3	40	0.0
Tomographie conventionnelle	10'000	0.1	48'000	0.7
<b>Total</b>	<b>9'500'000</b>	<b>100</b>	<b>7'300'000</b>	<b>100</b>

#### 3. Répartition par catégorie d'établissements

Le tableau 3 présente la répartition du nombre annuel d'examens et de la dose collective sur les différentes catégories d'établissements. On constate qu'en termes de nombre annuels d'examens, les médecins dentistes arrivent en tête avec 42% du total, suivis des hôpitaux avec 31% et des médecins généralistes et internistes généralistes avec 16%. L'ensemble des autres catégories compte pour 11%. En termes de dose collective, les hôpitaux seuls

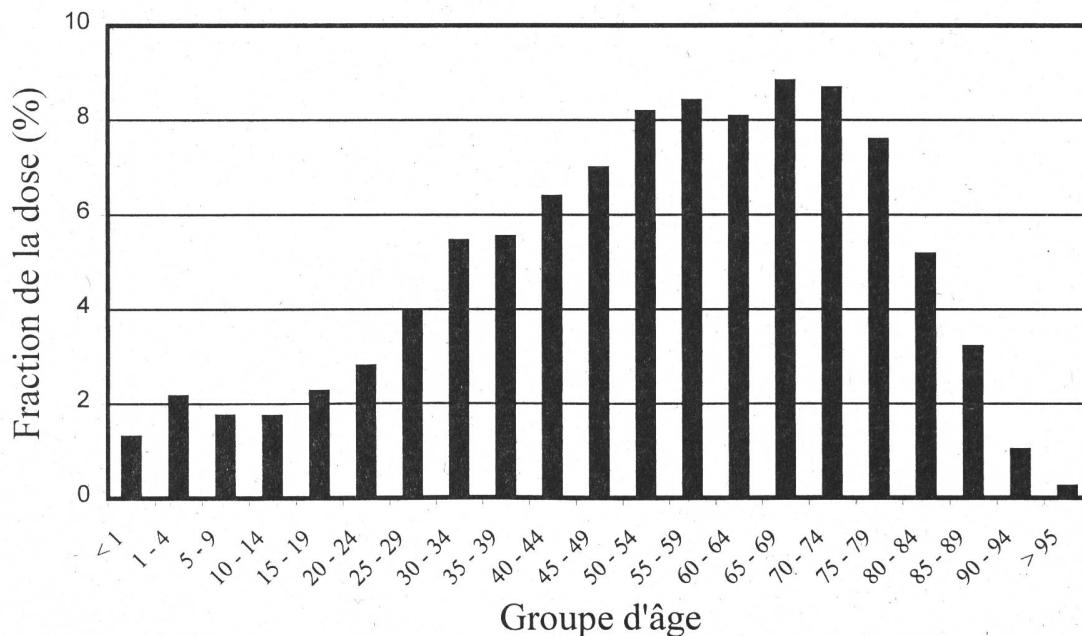
contribuent pour près de 73%. Les médecins généralistes et internistes généralistes comptent pour près de 10% et les radiologues pour près de 7%. L'ensemble des autres catégories compte pour 10%.

**Tableau 3** Nombre annuel d'examens et dose collective en mSv (arrondis) par catégorie d'établissements

Catégorie	Nombre annuel	Fraction (%)	Dose collective	Fraction (%)
Médecine générale et interne générale	1'500'000	15.8	690'000	9.5
Radiologie	250'000	2.6	500'000	6.9
Petits hôpitaux (< 500 lits)	2'000'000	21.1	3'400'000	46.4
Grands hôpitaux (> 500 lits)	950'000	10.0	1'900'000	26.3
Médecine dentaire	4'000'000	42.1	58'000	0.8
Chiropratique	60'000	0.6	140'000	2.0
Autres	700'000	7.4	580'000	8.0
<b>Total</b>	<b>9'500'000</b>	<b>100</b>	<b>7'300'000</b>	<b>100</b>

#### 4. Répartition par classe d'âges

La distribution de la dose collective en fonction de l'âge du patient est donnée à la figure 2 pour l'ensemble des examens. On constate que le maximum de la distribution se situe entre 65 et 75 ans. En corrigeant la dose pour l'effet de l'âge du patient sur la base de différents modèles de risque radiologique on obtient une dose effective annuelle moyenne d'environ 0.6 mSv par habitant.



**Figure 2** Distribution de la dose collective en fonction de l'âge du patient

#### 10.1.4. Conclusions

L'enquête sur l'exposition de la population suisse par le radiodiagnostic a permis de déterminer l'état de la situation du radiodiagnostic en Suisse, tant sur le plan des fréquences des divers types d'examens que sur celui des doses effectives associées à ces examens et des doses collectives qui en découlent. Elle a révélé qu'environ 9.5 millions d'examens à visée diagnostique ou interventionnelle sont pratiqués en Suisse chaque année, soit une moyenne annuelle de 1.34 examen par habitant. Ceci est comparable à ce qui est rapporté dans le cas des pays de niveau sanitaire comparable à celui de la Suisse. Elle a montré aussi que la dose collective totale à la population suisse, due au radiodiagnostic, est d'environ 7300 Sv par an, soit une moyenne annuelle de 1.0 mSv par habitant, ce qui est également comparable à ce qui est rapporté dans le cas des pays de niveau sanitaire comparable à celui de la Suisse. Le maximum de la distribution des âges des patients, tout type d'examen confondu, se situe entre 60 et 70 ans. Les résultats de l'application de plusieurs modèles tenant compte de l'âge du patient conduisent à une dose effective moyenne par habitant, corrigée pour l'effet de l'âge, de l'ordre de 0.6 mSv/an.

#### 10.1.5 Bibliographie

- [1] UNITED NATIONS, *Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, Official Records of the General Assembly, Forty-eighth Session, Supplement No 46 (A/48/46), New-York, 1993.
- [2] ZUPPINGER, A., MINDER, W., SARASIN, R. AND SCHÄR, M., Die Strahlenbelastung der schweizerischen Bevölkerung durch röntgendiagnostische Massnahmen, *Radiol. clin.* 30 (1961).
- [3] PORETTI, G., IONESCO, R. AND LANZ, W., Erhebung über die Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung infolge röntgendiagnostischer Untersuchungen, Hrsg., Schweiz. Vereinigung für Atomenergie 1971.
- [4] MINI, R. AND PORETTI, G., *Die Bestimmung der Strahlenbelastung einer Bevölkerungsgruppe gemäss ICRP26*, Tagungsbericht der Schweizerischen Gesellschaft für Strahlenbiologie und Strahlenphysik SGSP 1984.
- [5] MINI, R.L., *Dosisbestimmungen in der medizinischen Röntgendiagnostik*, Verlag Max Huber, ISBN 3 906401 14 6, 1992.

## 10.2. Le groupe radioécologie Nord-Cotentin

**Ch. Murith**                   Section de surveillance de la radioactivité, SUER  
Office fédéral de la santé publique  
Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

L'OFSP a eu le privilège de participer avec le BfS allemand et le NRPB britannique à l'expertise pluraliste réalisée par le groupe radioécologie Nord-Cotentin sur le risque de leucémie chez les jeunes du canton de Beaumont-Hague. Le point sur les conclusions de cette expertise, rendu public par la Commission spéciale et permanente d'information près de l'établissement de la Hague (CSPI), constitue une bonne synthèse des résultats des travaux du groupe. Nous remercions la CSPI d'avoir aimablement mis à disposition de l'OFSP le dossier paru dans son bulletin d'information N°5 pour une reproduction dans ce rapport.

### **Les résultats des travaux du groupe Radioécologie Nord-Cotentin** **La CSPI fait le point**

*Le groupe Radioécologie Nord-Cotentin, parmi lequel quatre membres de la CSPI, vient de remettre ses conclusions à propos du risque de leucémie chez les jeunes du canton de Beaumont-Hague, et de la dose de rayonnements reçus par les populations les plus exposées aux rejets de l'usine de La Hague*

Créé à la demande du Secrétaire d'État à la Santé et de la Ministre de l'Environnement, le groupe Radioécologie a rendu ses conclusions en juillet 1999 sur ses deux missions:

- apporter des éléments d'information complémentaires aux études épidémiologiques réalisées dans le Nord-Cotentin en estimant, à partir d'une reconstitution des expositions provenant de différentes sources de rayonnements ionisants, le risque de leucémie attribuable à ces seules sources pour les jeunes (0-24 ans) du canton de Beaumont-Hague entre 1978 et 1996,
- éclairer les décisions à prendre sur la révision des textes réglementaires régissant le fonctionnement de l'usine COGEMA, en évaluant la dose de rayonnement reçue par les groupes de populations les plus exposés.

Le groupe, présidé par Annie SUGIER, était constitué d'une cinquantaine de spécialistes du domaine nucléaire : contrôleurs, exploitants, représentants de mouvements associatifs, experts français et étrangers. Quatre membres de la CSPI faisaient partie du groupe.

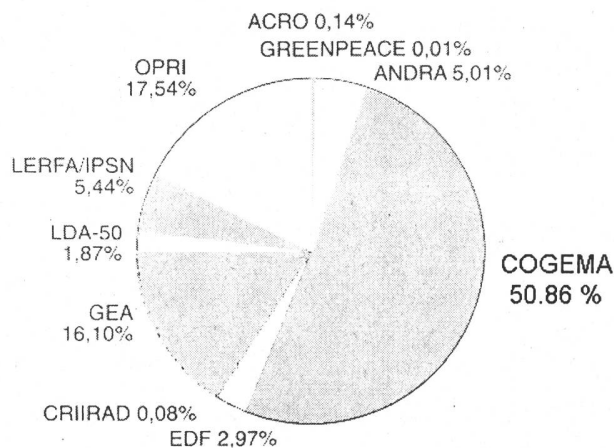




**Fig. 1:**

Réunion de la CSPI à la Mairie d'Equedreville-Hainneville le 14 octobre 1999

Environ 500'000 données, émanant essentiellement de COGEMA, de l'OPRI et du Groupe d'études atomiques de la Marine nationale (GEA) ont été rassemblées pour la période 1966-1997



**Fig. 2:**

Sources des mesures inventoriées

Pour mener à bien leurs travaux, les scientifiques ont étudié:

- les rejets des installations nucléaires : usine COGEMA La Hague, centre de stockage de déchets radioactifs, centrale de Flamanville, arsenal de Cherbourg ;
- les autres sources de rayonnements ionisants en tant qu'éléments de comparaison : sources médicales, radioactivité naturelle, retombées de l'accident de Tchernobyl et des essais atmosphériques d'armes nucléaires ;
- les bilans des rejets liquides et gazeux fournis par les exploitants ont été vérifiés. Ces bilans ont été complétés par la reconstitution, à partir des tonnages retraités, des activités de certains radionucléides non identifiés individuellement dans les années antérieures.

Les modèles de calcul permettant de connaître le devenir des radioéléments dans l'environnement à partir des rejets ont été confrontés chaque fois que possible aux mesures réelles. Ceci a permis, soit de valider ces modèles, soit de les corriger. Certains radioéléments importants ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ) n'étant pas pris en compte dans ces modèles, des mesures complémentaires devront être faites pour étudier leur comportement.

## Les résultats des travaux du groupe radioécologie

### Les leucémies attribuables à la radioactivité

Pour évaluer le risque de leucémie, les doses de rayonnement délivrées à la moelle osseuse ont été calculées depuis le début des rejets de l'usine COGEMA (1966), en prenant en compte le fonctionnement de routine mais aussi les accidents et incidents.

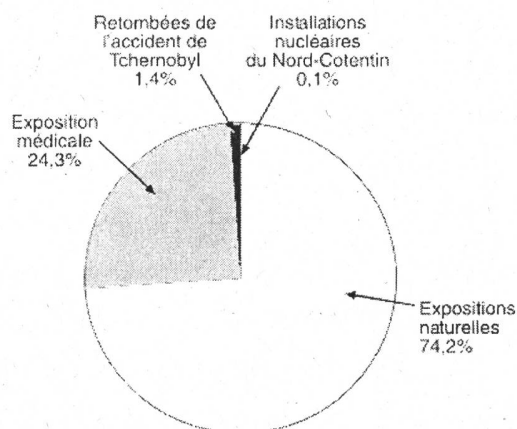
Le groupe Radioécologie a conclu qu'il était peu probable que les 4 cas observés dans le canton de Beaumont entre 1978 et 1996 chez les moins de 25 ans soient dus aux rejets des installations nucléaires du Nord-Cotentin, celles-ci contribuant pour 0,0014 cas au nombre de leucémies attribuables à l'ensemble des sources de rayonnement (soit 0.83 cas).

Par ailleurs, le nombre de cas observés sur la période étudiée n'est pas significativement différent de celui auquel on s'attendait d'après le taux national.

<b>Nombre de cas de leucémies attribuables aux différentes sources de rayonnements ionisants, entre 1978 et 1996, chez les moins de 25 ans, dans le canton de Beaumont-Hague</b>	
Source de radioactivité	Nombre * de cas de leucémies attribuables
Installations nucléaires	0.0014
Radioactivité naturelle	0.62
Radioactivité d'origine médicale	0.20
Autres sources	0.01
Total	0.83

\* Ces chiffres sont des moyennes, les marges d'incertitudes n'ayant pas encore été quantifiées.

On constate que la quasi-totalité (99%) du nombre de leucémies attribuables à la radioactivité est due aux sources naturelles et médicales, ces dernières ayant été estimées à partir des moyennes nationales.



**Fig. 3:** Répartition du risque de leucémie après la naissance en fonction des sources d'exposition pour les jeunes de 0 à 24 ans du canton de Beaumont-Hague (1978-1986)

Ces résultats sont comparables à ceux d'études réalisées autour des usines de retraitement de Dounreay et de Sellafield en Grande-Bretagne. Selon leurs conclusions, les rejets de ces installations ne peuvent expliquer le nombre de cas de leucémies observé.

Le groupe Radioécologie a également étudié l'effet des comportements pris en compte dans l'étude de cas-témoins de D. POBEL et J.F. VIEL publiée en 1997: même une fréquentation intensive des plages (1 h 20 par jour) n'augmente pas le risque de façon notable. Quant au risque lié à la consommation importante des produits de la mer locaux (500 g par jour), il est multiplié par 2, mais cette augmentation est due essentiellement à l'ingestion de radionucléides d'origine naturelle présents dans les produits de la mer.

### **La dose reçue par les groupes de population les plus exposés**

Pour évaluer la dose annuelle reçue par les groupes de population les plus exposés, le groupe Radioécologie a étudié une quinzaine de scénarios en fonction des habitudes de vie des populations riveraines du site COGEMA. Les doses reçues ont été calculées pour le corps entier en ne tenant compte que des rejets de routine.

Les scénarios du groupe Radioécologie conduisant aux doses les plus importantes ont été comparés à ceux de COGEMA dans ses études d'impact : les différences entre les résultats sont dus aux choix différents concernant les habitudes de vie. On a pu ainsi mesurer l'influence de ces habitudes sur la dose reçue.

<b>Dose individuelle reçue par les populations les plus exposées – Comparaison des estimations de COGEMA et du groupe Radioécologie</b>		
Dose individuelle (en mSv/an)		
	1985*	1996*
<b>Groupes de référence COGEMA</b>		
Pêcheurs de Goury	0,041	0,005
Habitants de Digueville	0,014	0,006
<b>Scénarios particuliers du groupe de radioécologie</b>		
Pêcheurs des Huquets	0,226	0,026
Agriculteurs au Pont-Durand	0,053	0,059

\* Années ayant donné lieu aux impacts les plus importants par les voies marines et terrestres

Les doses reçues par les groupes de population les plus exposées à la radioactivité rejetée par l'Etablissement de COGEMA-La Hague restent inférieures à la limite pour le public (1 millisievert par an). Mais comme il existe d'autres sources potentielles de radioactivité artificielle, les doses calculées sont à comparer à une fraction de cette limite pour tenir compte de la contribution éventuelle de ces sources.

A titre de comparaison, la dose individuelle due à la radioactivité naturelle est en moyenne de 2,4 mSv par an en France.

Les principaux documents techniques élaborés par le groupe Radioécologie, ainsi que ses conclusions sont accessibles sur Internet ([www.ipsn.fr/nord-cotentin](http://www.ipsn.fr/nord-cotentin)) et peuvent être obtenus à l'IPSN.

## 10.3. Personendosen durch kosmische Strahlung bei Flugreisen

von K. Gmür <sup>1</sup>, M. Höfert <sup>2</sup> und Ch. Wernli <sup>1</sup>

1) Paul Scherrer Institut, 5232 VILLIGEN

2) CERN, 1211 GENÈVE

### Zusammenfassung

Die aus dem Weltraum kommende hochenergetische Strahlung besteht aus der galaktischen kosmischen Strahlung unbekanntem Ursprungs und der solaren kosmischen Strahlung, welche mit der Sonnenaktivität gekoppelt ist. Beim Eindringen dieser primären Komponenten in die Lufthülle entsteht durch Kernreaktionen die sekundäre kosmische Strahlung, welche sich vorwiegend aus Neutronen, Protonen, Pionen, Myonen, Elektronen und Photonen zusammensetzt. Dieses Strahlungsgemisch wird gewöhnlich als kosmische Strahlung bezeichnet. Mit Ausnahme sehr seltener solarer Ausbrüche ist die kosmische Strahlung innerhalb der Atmosphäre durch die galaktische Komponente bestimmt. Die Energie der solaren Strahlung ist deutlich tiefer als diejenige galaktischer Herkunft, dafür kann die Intensität um Größenordnungen höher sein. Die solare kosmische Strahlung trägt normalerweise nur unwesentlich zur Strahlenbelastung der Luftfahrt unter etwa 12 km Höhe oder auf der Erdoberfläche bei, kann aber zu einem Problem der Übermittlungstechnik, der Luftfahrt in grossen Höhen oder der bemannten Raumfahrt werden.

### 10.3.1 Kosmisches Strahlenfeld

Die primäre galaktische Strahlung enthält etwa 85% Protonen, 12% Alphateilchen, 1% schwerere Teilchen und 2% Elektronen. Die meisten dieser Partikel werden in den obersten Luftschichten abgebremst, der Rest reagiert mit Atomkernen der Luft und erzeugt einige wenige bis sehr viele sekundäre Partikel, welche sich weiter umwandeln und ihre Energie an die durchstrahlte Materie abgeben. Die Dosisleistung der kosmischen Strahlung in der Atmosphäre setzt sich aus folgenden Beiträgen zusammen:

	Höhe: 0 km	10 bis 12 km
Elektronen	10%	45%
Neutronen	15%	40%
Protonen	0%	10%
Myonen und Pionen	75%	5%

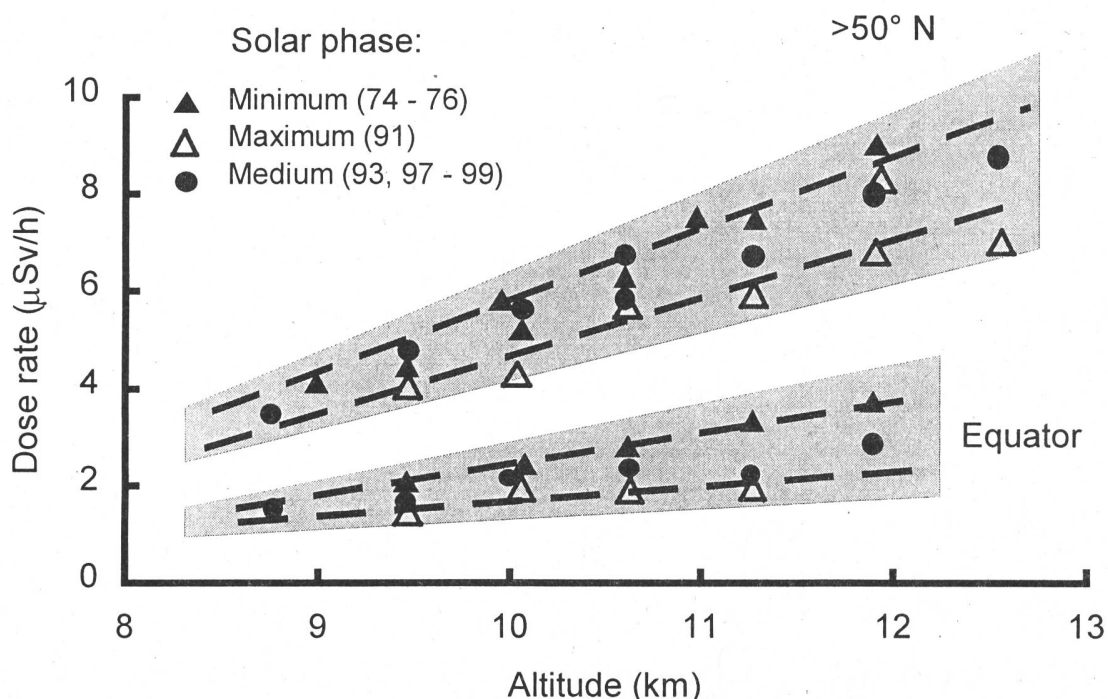
Der von den Photonen (Gamma-, Röntgen- und Bremsstrahlung) verursachte Dosisbeitrag wird in der Literatur meistens nicht separat ausgewiesen, sondern in den Elektronenbeitrag eingerechnet. Über die hochenergetischen schwereren Teilchen und über Spallationsreaktionen <sup>1)</sup> im menschlichen Körper ist für den Flughöhenbereich bis 12 km wenig bekannt. Verschiedene Quellen schätzen für Spallationsreaktionen <sup>1)</sup> einen Dosisbeitrag von 10 % [6].

---

<sup>1)</sup> Spallation: Kernumwandlung bei der ein energiereiches Geschossteilchen aus dem getroffenen Kern zahlreiche einzelne Teilchen (Protonen, Neutronen) herausschlägt. Zuerst als Wirkung der kosmischen Strahlung beobachtet

## Örtliche und zeitliche Variationen

Zur Höhenabhängigkeit der kosmischen Strahlung kommen weitere örtliche Variationen. Das Magnetfeld der Erde lenkt die einfallenden geladenen Partikel in Polrichtungen ab, was zu einer Abschwächung und einer spektralen Änderung der kosmischen Strahlung im Bereich des geomagnetischen Äquators führt. In äquatorialen Gebieten beträgt die Dosisleistung in Höhen von 10 bis 12 km nur etwa die Hälfte derjenigen in hohen nördlichen oder südlichen Breiten. In Abbildung 1 sind typische gemessene Dosisleistungen in höheren nördlichen geomagnetischen Breiten mit äquatorialen Werten verglichen.



**Abb. 1:** Örtliche und zeitliche Variationen der kosmischen Strahlung in Reiseflughöhen. Als typische, über die ganze Erde und über den Sonnenzyklus gemittelte Dosisleistung kann ein Wert von  $5 \mu\text{Sv/h}$  angenommen werden. (Angaben aus [4] und [7])

Bei starker Sonnenaktivität erzeugen die ausgeschleuderten solaren Partikel elektromagnetische Felder, welche die galaktische kosmische Strahlung vom Sonnensystem weglenken, d.h. die atmosphärische kosmische Strahlenintensität nimmt ab. Die Veränderungen der zur Sonnenaktivität antizyklisch verlaufenden Intensität der kosmischen Strahlung sind ebenfalls in Abbildung 1 dargestellt.

Ortsabhängigkeit der Strahlenintensität ist auch innerhalb von Flugzeugen festgestellt worden. Gemäss einer australischen Publikation [5] liegen die Dosiswerte im Cockpit einer B-737 etwa 10% über denjenigen in der Kabine. Die Abschirmung der Flugzeugkabine scheint zur Zeit weder möglich noch notwendig zu sein. Material, welches normalerweise zur Abschirmung von Photonenstrahlung verwendet wird, wirkt in kosmischer Strahlung sogar verstärkend [3].

### 10.3.2 Messtechnische und dosimetrische Aspekte

Im Falle gemischter Strahlenfelder, wie sie auch in grossen Höhen vorliegen, ergeben sich bei der Erfassung der Personendosen messtechnische Schwierigkeiten. Ausserdem wird angezweifelt, ob die aus Messungen schliesslich abgeleiteten effektiven Dosen für die stochastische Strahlenwirkung, hier besonders der Spallationsreaktionen, repräsentativ sind.

Zur Ermittlung von Personendosen in gemischten Strahlenfeldern gibt es mehrere Möglichkeiten. Die aufwendigste Methode besteht in der messtechnischen Erfassung der einzelnen Komponenten eines Strahlenfeldes, etwa der getrennten Messung von Neutronen, geladenen Teilchen und Photonen. Falls Neutronen den grössten Anteil zur Dosis beitragen, genügt es manchmal, sofern die Zusammensetzung des Strahlenfeldes grundsätzlich bekannt ist, nur diese Komponente zu messen und die anderen Anteile rechnerisch zu berücksichtigen. Ein solches Verfahren kann zu einer beträchtlichen Überbewertung der Dosen führen, die aber in Anbetracht meist kleiner absoluter Dosiswerte häufig in Kauf genommen wird.

Andererseits steht zur Dosimetrie in gemischten Strahlenfeldern heute für die Messung von Ortsdosen als Methode der Wahl der gewebeäquivalente Proportionalzähler (TEPC = Tissue Equivalent Proportional Counter) zur Verfügung. Bei einem TEPC wird die lokale Energieabgabe beim Durchgang ionisierender Strahlung durch Gewebestrukturen im Mikrometerbereich simuliert. Bei einer solchen Messung erhält man nicht nur die Energiedosis, sondern auch Informationen über die Höhe der lokalen Energieabgabe bei der Wechselwirkung von locker- und dichtungisierender Strahlung mit Gewebe. Aus der Energiedichtevertellung, der linealen Energie in  $\text{keV}/\mu\text{m}$ <sup>2)</sup>, im mikrogeometrischen Bereich lässt sich somit die Äquivalentdosis unabhängig von der Strahlenart bestimmen.

In Abbildung 2 ist links ein beim Flug in grossen Höhen gemessenes Ereignisspektrum der Energie- und der Äquivalentdosis als Funktion der linealen Energie dargestellt [13]. In diesem Spektrum lassen sich deutlich drei Bereiche unterscheiden. Lokale Energieabgaben unterhalb von  $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$  werden Elektronen und Myonen<sup>3)</sup> aber auch schnellen Protonen (Energieabgabe durch elektromagnetischen Wechselwirkung) zugeschrieben. In Reaktionen mit schnellen Neutronen werden Energien durch Rückstosskerne im linealen Energiebereich von 10 bis  $100 \text{ keV}/\mu\text{m}$  deponiert. Schliesslich repräsentieren die höchsten Werte die hohen lokalen Energieabgaben durch die Kernbruchstücke als Ergebnis von Spallationsreaktionen<sup>1)</sup>, können aber auch durch einige wenige die Stratosphäre erreichende schwere Kerne der kosmischen Strahlung hervorgerufen werden.

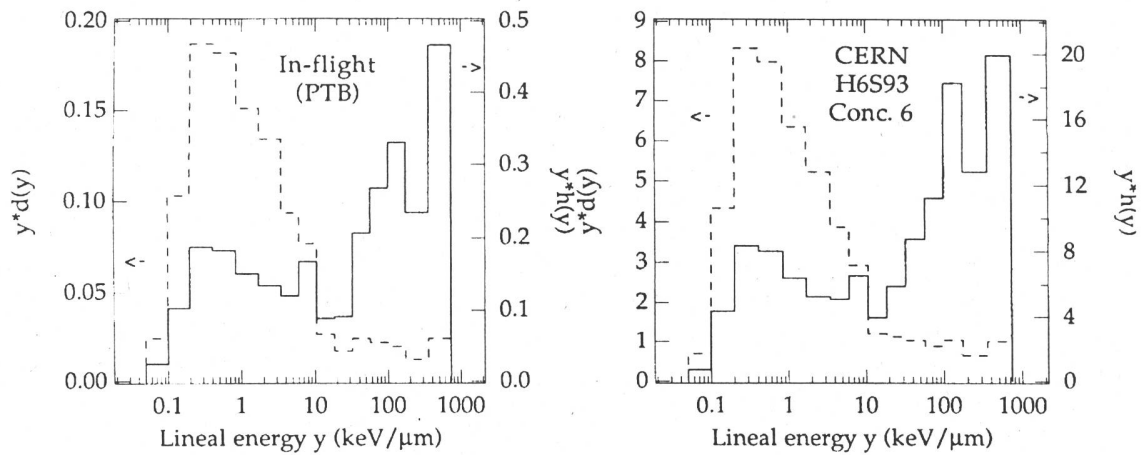
Zwischen gemessenen Spektren in Flughöhen und Spektren der linealen Energie in der Nähe der Betonabschirmung von Hochenergiebeschleunigern besteht grosse Ähnlichkeit (Abbildung 2 rechts) [12]. Ähnliche TEPC-Spektren bedeuten jedoch nicht gleiche Spektralverteilungen der im Strahlenfeld vorhandenen Primärteilchen. So wird der Anteil der Dosis im linealen Energiebereich von 1 bis  $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$  beim Beschleuniger durch Myonen<sup>3)</sup> hervorgerufen, während in Flughöhen wesentlich Elektronen dafür verantwortlich sind. Dies muss bei allen Detektoren, die zur Dosisbestimmung in Flugzeugen Verwendung finden, berücksichtigt werden.

---

<sup>2)</sup> lineale Energie: die beim Durchdringen von Materie durch ionisierende Strahlung pro Weglänge absorbierte Strahlungsenergie in  $\text{keV}/\mu\text{m}$

<sup>3)</sup> Myon: (auch  $\mu$ -Meson), instabiles, geladenes Elementarteilchen aus der Gruppe der Leptonen (zu denen auch das Elektron gehört); seine Masse beträgt das 207-fache der Elektronenmasse





**Fig. 2:** Gemessene Energie- [gestrichelt] und Äquivalentdosispektren [durchgezogen] als Funktion der linealen Energie: Links Spektren während eines Fluges [7, 13], rechts auf einer Betonabschirmung bei CERN [8].

### 10.3.3 Dosimetrie und Dosen des Flugpersonals

In der Schweiz beträgt die mittlere natürliche Dosisleistung am Boden ca. 0.1 Mikrosievert pro Stunde, wovon etwa 5% durch Neutronen verursacht werden. Der Mittelwert für die Dosisleistung auf heutigen Reiseflughöhen und Flugrouten beträgt 5 Mikrosievert pro Stunde, mit einem Neutronenanteil von etwa 50%. Für Cockpit- und Kabinenpersonal ergibt sich somit durch berufliche Tätigkeit bei einem Mittel von 600 Flugstunden pro Jahr eine effektive Jahresdosis von 3 mSv. Das Flugpersonal der Schweiz, etwa 5000 Personen, mit einem Frauenanteil von 60%, akkumuliert demnach eine Kollektivdosis<sup>4)</sup> von 15 Personen-Sievert pro Jahr. Zum Vergleich: 1999 akkumulierten die 3823 beruflich strahlenexponierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aller Schweizer Kernkraftwerke eine Kollektivdosis von 4,50 Personen-Sievert pro Jahr, was einer mittleren effektiven Jahresdosis von 1,2 mSv entspricht. Demgegenüber beträgt die natürliche und zivilisatorische effektive Jahresdosis (Radoninhalation eingerechnet) in der Schweiz etwa 4 mSv.

### 10.3.4 Strahlenbiologische Aspekte

Die strahlenbiologische Grundannahme geht aber davon aus, dass ähnliche Spektren einer lokalen Energieabgabe auch ähnliche Strahlenwirkung auf den Menschen haben. Dass TEPCs die Verteilung der linealen Energieabgabe direkt messen, unterstreicht die Bedeutung dieser Geräte als Referenzinstrumente in der Dosimetrie gemischter Strahlenfelder [8].

Die erhöhte Strahlenwirkung von Neutronen (lokale Energieabgabe von 100 keV/μm) wurde in vielen strahlenbiologischen Experimenten nachgewiesen und führte ursächlich zu den Definitionen der Strahlenschutzgrößen Äquivalent- und effektiver Dosis. Wie aber sind lokale Energieabgaben um 500 keV/μm, so sie bei der Wechselwirkung von Höhenstrahlung mit Gewebe beobachtet werden, strahlenbiologisch zu bewerten? Die Frage, ob hochenergetische Strahlung bei gleicher Äquivalentdosis ein höheres Strahlenrisiko bedeutet als etwa Neutronenstrahlung, wurde bereits früher im Hinblick auf die biologische Wirkung von Beschleunigerstrahlung gestellt und im Zusammenhang mit der Flugdosimetrie wieder aktuell.

<sup>4)</sup> Kollektivdosis: Summe der effektiven Dosen eines Kollektivs oder einer Personengruppe in man-Sv

Bei strahlenbiologischen Untersuchungen im CERN stand die Frage im Vordergrund, ob im Falle einer hohen lokalen Energieabgabe die limitierenden Strahlenschutzgrößen zur quantitativen Beschreibung des Strahlenrisikos ausreichen. Die Befunde der Experimente hat Baarli in einem Übersichtsartikel wie folgt beschrieben [9]:

Bei den Systemen, in denen der Zelltod in Abhängigkeit der Energiedosis untersucht wurde, ist die biologische Wirksamkeit hochenergetischer Hadronen<sup>5)</sup> weit geringer als die schneller Neutronen. Im Vergleich mit Neutronen, für die je nach den untersuchten Systemen hohe Werte der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) bis zu 20 auftraten, variierte die RBW für Spallationsereignisse auf Grund der Wechselwirkung hochenergetischer Strahlung nur zwischen 2 und 5, ein Ergebnis, welches damit erklärt wird, dass bei einer Spallationsreaktion lokal weit größere Energiemengen als zur Auslösung der biologischen Effekte nötig abgegeben werden.

Genetische Veränderungen in der Form von Chromosomenaberrationen wurden von Heimers beobachtet [11]. Sie stellte eine signifikante Erhöhung von Dizentren<sup>6)</sup> in Lymphozyten<sup>7)</sup> bei Personen, die in den letzten ein bis sechs Jahren im aktiven Flugdienst beschäftigt waren, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe fest. Strahlenbiologische Untersuchungen mit Zellkulturen in Streufeldern am CERN konnten diese Beobachtungen bisher nicht bestätigen. Eine grössere epidemiologische Studie von fliegendem Personal, welche 47 000 Personen umfasst, ist in Arbeit [10].

### 10.3.5 Epidemiologische Untersuchungen

#### Bisherige Ergebnisse

Eine sehr übersichtliche Darstellung gut dokumentierter epidemiologischer Studien zum Krebsrisiko und zur Mortalität von Flugpersonal stammt von M. Blettner und B. Grosche [14]. Die Zusammenstellung umfasst folgende Arbeiten:

<b>Publikation</b>	<b>Population</b>	<b>Personenzahl</b>	<b>Zeitraum</b>
Salisbury et al., 1991	männliche Piloten in British Columbia	nicht bek.	1950 - 1985
Irvine et al., 1992	männliche Piloten British airlines	nicht bek.	1966 - 1989
Band et al., 1990	männliche Piloten CP Air	913	1950 - 1988
Kaji et al., 1993	Japanische Piloten	2327	1952 - 1988
Band et al., 1996	männliche Piloten Air Canada	2740	1959 - 1992

<sup>5)</sup> Hadronen: Stark wechselwirkende Elementarteilchen, also Mesonen oder Baryonen. Es wird angenommen, dass alle Hadronen (zu denen auch das Proton und das Neutron - beides Baryonen - gehört), aus Quarks aufgebaut sind

<sup>6)</sup> Dizentren: Chromosomenaberrationen die durch Verschmelzen zweier Chromosomen-Enden entstehen; sie können u.a. durch ionisierende Strahlung ausgelöst werden und sind nach einer akuten Ganzkörperbestrahlung ab 0.1 Sv mikroskopisch nachweisbar

<sup>7)</sup> Lymphozyten: weisse Blutkörperchen; sie werden im Knochenmark, den Lymphknoten, in Thymus und Milz gebildet

<b>Publikation</b>	<b>Population</b>	<b>Personenzahl</b>	<b>Zeitraum</b>
Grayson et al., 1996	U.S. Airforce Fluggers. U.S. Airforce, andere Pers.	59'940 167'263	1975 - 1989
Pukkala et al., 1995	weibl. Kabinenpers. männl. Kabinenpers. Finnair, ab 15 Jahren	1577 187	1940 - 1992

In ihrer Zusammenfassung und Kritik der Ergebnisse erwähnen die Autoren den zu erwartenden "Healthy Worker"-Effekt (kleineres Sterberisiko als Durchschnittsbevölkerung) und das erhöhte Risiko für Tod infolge Flugunfall. Die Resultate für Erkrankung oder Tod infolge verschiedener Krebsarten sind nicht so einheitlich, für verschiedene Krebsarten erscheinen sowohl erhöhte als auch verminderte Risiken. Die Hirntumore scheinen in den meisten Studien über dem Durchschnitt zu liegen. Die finnische Studie ergibt für Brust- und Knochenkrebs von weiblichem Kabinenpersonal ein erhöhtes Krebsrisiko. Die Autoren der Studien weisen im Allgemeinen darauf hin, dass die Resultate mit Vorsicht zu interpretieren seien. Insbesondere beweisen die Studien nicht, dass die erhöhten Risiken durch die kosmische Strahlung verursacht wurden.

Eine kürzlich veröffentlichte dänische Untersuchung [15] kommt zu teilweise gleichen und teilweise widersprechenden Ergebnissen. Wie in der obigen Diskussion erwähnt sind auch hier die Risiken für einige Krebsarten erniedrigt und für andere erhöht. Insbesondere ergibt sich für den Hirntumor kein erhöhtes Risiko, wohl aber für akute myeloische Leukämie<sup>8)</sup> und Hautkrebse. Auch diese Autoren sehen es nicht als erwiesen, dass die kosmische Strahlung zu den erhöhten Krebsraten führt. Bei der akuten myeloischen Leukämie deutet die Tatsache, dass das Risiko nur für Piloten mit über 5000 Flugstunden erhöht ist, zwar darauf hin, für die Hautkrebse aber wird die erhöhte Sonnenexposition infolge Aufenthalts an Feriendestinationen als mögliche Ursache vermutet.

## **Bewertung**

Die Gesundheit von Piloten wird seit langem sowohl während der Berufsausübung als auch retrospektiv sehr gut überwacht. In der finnischen Publikation ist auch weibliches Flugpersonal erfasst. Weitere Untersuchungen, z.T. sehr grosse, sind zu erwarten. Das bisher vorliegende Bild ist insofern einheitlich, dass das Todesrisiko unter Einschluss aller Krebsarten nicht signifikant erhöht ist, dass aber studienabhängig einzelne Krebsarten über oder unter dem Durchschnitt auftreten. Die meisten Autoren sind sich einig, dass die festgestellten erhöhten Risiken einiger Krebsarten nicht definitiv der kosmischen Strahlung zuzuschreiben sind. Mehr Klarheit erhofft man sich von Zellkernanalysen von Flugpersonal und Zellkulturen. Einer der Gründe für das ständige Interesse an den gesundheitlichen Auswirkungen liegt darin, dass die kosmische Strahlung vorwiegend aus Strahlenarten besteht, für die keine so gut fundierten Erfahrungen vorliegen wie für die Röntgen- und Gammastrahlung. Insbesondere ist die biologische Wirkung der Neutronen immer wieder Gegenstand von Diskussionen und Untersuchungen.

---

<sup>8)</sup> Akute myeloische Leukämie (AML): Krebsige Entartung der weissen Blutzellen des Knochenmarkes (Myelom). Sie kann u.a. auch durch ionisierende Strahlung ausgelöst werden

### 10.3.6 Literatur

- [1] United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York, 1993.
- [2] National Council on Radiation Protection and Measurements. Exposure of the Population of the United States and Canada from Natural Background Radiation  
NCRP Report No. 94, NCRP, Bethesda, MD, 1987.
- [3] European Commission, EURADOS Working group 11. Exposure of air crew to cosmic radiation. Radiation Protection 85. Luxembourg 1996.
- [4] D.T. Bartlett, J.R. McAulay, U.J. Schrewe, K. Schnuer, H.-G. Menzel, J.-F. Bottollier-Depois, G. Dietze, K. Gmür, R.E. Grillmaier, W. Heinrich, T. Lim, L. Lindborg, G. Reitz, H. Schraube, F. Spurny, and L. Tommasino. Dosimetry for occupational exposure to cosmic radiation. *Radiat. Prot. Dosim.* 70, 395-404 (1997)
- [5] O.J. Wilson, B.F. Young, Ch.K. Richardson. Cosmic radiation doses received by Australian commercial flight crews and the implications of ICRP 60. *Health Physics* 66, 493-502 (1994)
- [6] Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Die Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, Jena, New York Heft 1 (1995)
- [7] U.J. Schrewe. Radiation exposure monitoring in civil aircraft. *Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res. A* 422 (1999) 621-625.
- [8] A. Aroua, M. Höfert and A. Sannikov, On the use of tissue-equivalent proportional counters (TEPCs) in high-energy stray radiation fields, *Radiat. Prot. Dosimetry* 59, 49 (1995)
- [9] J. Baarli, Radiobiological problems connected to exposure from cosmic radiation, *Radiat. Prot. Dosimetry* 48, 101 (1993)
- [10] International Conference on Cosmic Radiation and Air Crew Exposure, Implimentation of European Requirements in Civil Aviation, European Commission, Dublin (1998)
- [11] A. Heimers, H. Schröder, E. Lengfelder and I. Schmitz-Feuerhake, Chromosome aberration analysis in aircrew, *Radiat. Prot. Dosimetry.* 52, 156 (1995)
- [12] M. Höfert, G. R. Stevenson and W. G. Alberts, Measurement of radiation fields and dosimetry in the stratosphere, Proc. der 26. Jahrestagung des FS, p. 541, Karlsruhe, May 1994, TIS-RP/93-18/CF (1994)
- [13] H. Schuhmacher and U. J. Schrewe , Dose Equivalent Measurements on Board of Civil Aircraft, Report PTB-N-13, Braunschweig (1993).
- [14] M. Blettner und B. Grosche. Occupational Cancer Risk in Flying Personnel: Current Epidemiological Knowledge. In *Strahlenbiologie und Strahlenschutz*, Herausgeber G. Heinemann und H. Pfob, Verlag TÜF Rheinland GmbH, Köln, 1996.
- [15] M. Gundestrup und H. H. Storm. Radiation-induced acute myeloid leukaemia and other cancers in commercial jet cockpit crew: a population-based cohort study. *Lancet* 354 (1999) 2029-2031.

