

ANNALEN  
VAN  
DE BELGISCHE VERENIGING  
VOOR  
STRALINGSBESCHERMING

---

---

VOL. 14, N° 4

4e trim. 1989

Driemaandelijkse  
periodiek  
1050 Brussel 5

Périodique  
trimestriel  
1050 Bruxelles 5

---

---

ANNALES  
DE  
L'ASSOCIATION BELGE  
DE  
RADIOPROTECTION

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES  
Fazantendreef, 13  
2850 Keerbergen

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART  
14, rue Juliette Wytsmannstraat,  
1050 Bruxelles - Brussel

Secrétaire de rédaction

Publikatie van teksten in de Annales gebeurt onder volledige verantwoordelijkheid van de auteurs.

Nadruk, zelfs gedeeltelijk uit deze teksten, mag enkel met schriftelijke toestemming van de auteurs en van de Redactie.

Les textes publiés dans les Annales le sont sous l'entière responsabilité des auteurs.

Toute reproduction, même partielle, ne se fera qu'avec l'autorisation écrite des auteurs et de la Rédaction.

**INHOUD****SOMMAIRE**

- **L. BAEKELANDT**  
Administratieve organisatie van de stralingsbescherming 181 - 192
- **J. DELHOVE**  
Organisation administrative et pratique de la radio-  
protection 193 - 204
- **A. WAMBERSIE**  
La traduction biologique d'une exposition aux rayonne-  
ments ionisants 205 - 234
- **L. HOLMSTOCK**  
Dekontaminatie van radioactief besmette personen 235 - 266
- **A. POFFLIJN**  
Kwaliteitsonderzoek en calibratie van toestellen voor  
radiotherapie 267 - 274
- **A. WAMBERSIE, J.R. MAISIN, J. GUEULETTE, H.G. MENZEL**  
Evolution and future of radiobiology 275 - 290

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming, vol.14,nr 4, (1989)

ADMINISTRATIEVE ORGANISATIE VAN DE STRALINGSBESCHERMING

L. Baekelandt  
Niras  
Madouplein 1, B 24/25  
1030 Brussel

Samenvatting

In dit artikel wordt beschreven op welke wijze het administratief toezicht op de naleving van de reglementering inzake stralingsbescherming in België georganiseerd is.

1. Inleiding

De Belgische reglementering inzake stralingsbescherming vindt men terug in een reeks wetten en besluiten, waarvan de twee belangrijkste zijn:

- het algemeen reglement op de bescherming van de bevolking en van de werknemers tegen het gevaar van de ioniserende stralingen;
- het algemeen reglement op de arbeidsbescherming.

Deze reglementen zijn gebaseerd op de Richtlijnen van de Raad van de Europese Gemeenschappen terzake, die op hun beurt gebaseerd zijn op de aanbevelingen van de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP).

Dit betekent dat de wetenschappelijke grondslagen en de basisprincipes van de stralingsbescherming internationaal aanvaard zijn. De praktische toepassing en het toezicht op de naleving ervan verschillen evenwel van land tot land.

In hetgeen volgt wordt een overzicht gegeven van deze administratieve organisatie in België.

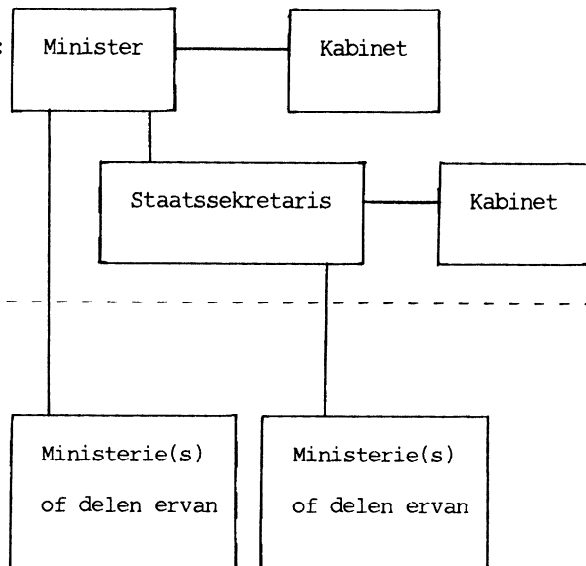
## 2. Structuur van ministeries

Het is wellicht nuttig om vooraf de relatie tussen een Ministerie en een Minister en Staatssekretaris te schetsen. Algemeen kan gesteld worden dat de (politieke) beleidsbeslissingen genomen worden door de Staatssekretaris en/of de Minister aan wie hij toegevoegd is. Bij de vorming van een regering worden afspraken gemaakt om de bevoegdheden te verdelen. De Ministeries adviseren de Ministers en Staatssekretarissen en staan in voor de uitvoering van de beslissingen.

Dit laatste betekent ook dat in de praktijk de aanvragen tot het bekomen van vergunningen, toelatingen of goedkeuringen niet bij de Minister of de Staatssekretaris worden ingediend, maar bij het Ministerie of de bevoegde dienst van dit Ministerie. Deze relatie kan schematisch voorgesteld worden als volgt:

Afhankelijk van de  
politieke constellatie:  
kan bij de vorming van  
een nieuwe regering  
gewijzigd worden

Onafhankelijk van  
de politieke con-  
stellatie: worden  
niet gewijzigd bij  
de vorming van een  
nieuwe regering

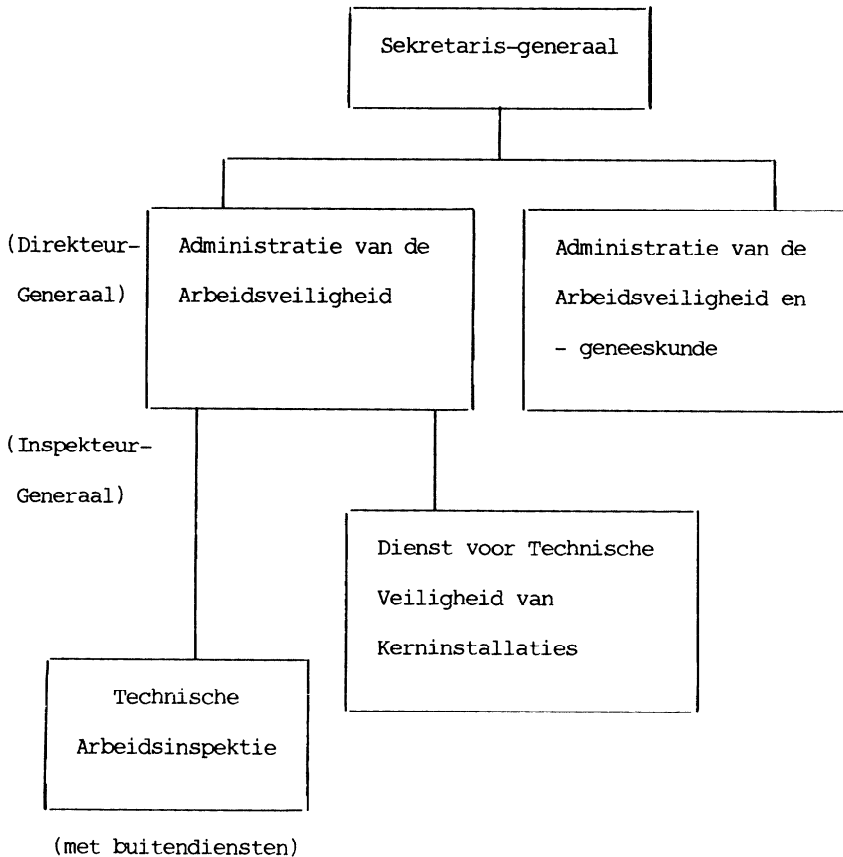


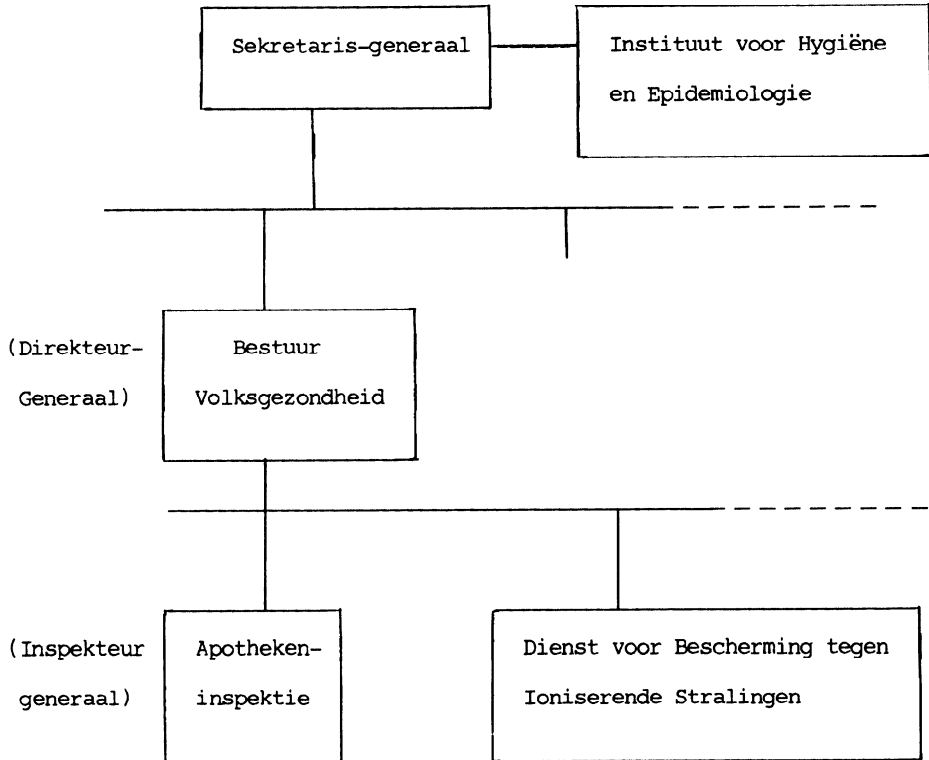
Inzake stralingsbescherming zijn in hoofdzaak diensten van twee ministeries belast met de toepassing en het toezicht op de naleving van de reglementering:

- het Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid;
- het Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu

De structuur van deze Ministeries wordt hieronder schematisch weergegeven

MINISTERIE VAN TEWERKSTELLING EN ARBEID



MINISTERIE VAN VOLKSGEZONDHEID EN LEEFMILIEU

Het is ook zo dat het niveau waarop beslissingen genomen worden (Minister, Staatssekretaris, sekretaris-generaal, directeur-generaal, inspekteur-generaal) overeenkomt met de belangrijkheid van de beslissing.

### 3. Bevoegdheden van de Ministeries en hun diensten

De bevoegdheden van de hierboven genoemde ministeries kunnen, wat het domein van de stralingsbescherming betreft, als volgt samengevat worden:

- Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid: de bescherming van de werknemers:
  - a) de Administratie van de arbeidshygiëne en -geneeskunde voor de medische aspecten;
  - b) de Administratie van de arbeidsveiligheid (Technische Arbeidsinspectie en Dienst voor technische veiligheid van kerninstallaties) voor de technische (veiligheids)aspecten;
- Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu: de bescherming van de bevolking in het algemeen:
  - a) het Bestuur Volksgezondheid (Dienst voor Bescherming tegen Ioniserende Stralingen) en
  - b) het Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie voor de meer wetenschappelijke aspecten (metingen, laboratoriumanalyses).

Het hoeft geen betoog dat voor sommige aspecten en deelgebieden beide Ministeries een zekere bevoegdheid hebben en dat beslissingen gezamenlijk genomen worden, omdat die van belang zijn zowel voor de werknemers als voor de bevolking in het algemeen.



Enkele voorbeelden kunnen dit illustreren:

- de veiligheid van installaties heeft een impact op de stralingsbescherming van de werknemers en van de bevolking; beide Ministeries komen dus tussen in de vergunningsprocedure;
- individuele dosimeters (voor beroepshalve blootgestelde personen) worden erkend door de Administratie van de Arbeidsveiligheid;
- beide Ministeries komen tussen in de procedure voor erkenning van deskundigen;
- de types van toestellen voor medisch gebruik van ioniserende stralingen worden door het Bestuur Volksgezondheid erkend;
- voor de invoer, de doorvoer en het vervoer van radioactieve stoffen is uitsluitend het Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu bevoegd.

Er zijn dan ook afspraken gemaakt tussen de bevoegde diensten van de verschillende Ministeries wat betreft de procedures die moeten gevolgd worden voor het bekomen van vergunningen van diensten van verschillende ministeries; bijvoorbeeld, de toelatingen voor het occasioneel gebruik van ioniserende stralingen in niet vergunde inrichtingen worden ingediend bij het Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid.

#### 4. Organisatie van de stralingsbescherming

Het gebruik van ioniserende stralingen is onderworpen aan een stelsel van verklaringen en vergunningen, waarin eventueel bijzondere voorwaarden kunnen opgelegd worden.

Er worden in de reglementering verschillende soorten controles onderscheiden; een fysische, een medische en een radiofarmaceutische.

#### 4.1. Fysische controle

Volgens artikel 23 van het algemeen reglement op de bescherming van de bevolking en van de werknemers tegen het gevaar van de ioniserende stralingen, moet het ondernemingshoofd een dienst voor fysische controle op de bescherming inrichten. Deze dienst is op een algemene wijze belast met de inrichting van en het toezicht over de nodige maatregelen om de naleving van de bepalingen van voornoemd reglement te verzekeren die betrekking hebben op de veiligheid en de gezondheid van de arbeid, de veiligheid en de salubriteit van de buurt, niet deze die betrekking hebben op de medische controle.

Het hoofd van deze dienst is een erkend deskundige:

- van klasse I in de inrichtingen van klasse I;
- van klasse I of II in de inrichtingen van klasse II en in ondernemingen die radioactieve stoffen vervoeren onder dekking van een speciale vergunning (d.w.z. relatief grote hoeveelheden);
- van klasse I, II of III in de inrichtingen van klasse III en in ondernemingen die radioactieve stoffen vervoeren onder dekking van een algemene of bijzondere vergunning (d.w.z. relatief kleine hoeveelheden)

Deze deskundigen worden, op basis van opleiding en ervaring, erkend door de Ministers van Tewerkstelling en Arbeid en van Volksgezondheid.

In inrichtingen van klasse II en III en in ondernemingen die radioactieve stoffen vervoeren, mag deze opdracht aan een erkend organisme van klasse I of II toevertrouwd worden. Indien dit niet gebeurt dient het ondernemingshoofd toch op een erkend organisme beroep te doen voor sommige opdrachten (dubbele controle).

Deze organismen worden erkend door de Ministers van Tewerkstelling en Arbeid en van Volksgezondheid. In de toezichtskommissies zetelen evenwel enkel ambtenaren van het Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid.

De fysische controle omvat inzonderheid:

- 1) de afbakening en de signalisatie van gecontroleerde zones;
- 2) het onderzoek en de controle van bestaande beschermingsmiddelen en -uitrustingen;
- 3) het voorstellen van aanvullende beschermingsmiddelen;
- 4) het onderzoek en de voorafgaande goedkeuring van ontwerpen van installaties die een gevaar voor blootstelling inhouden en van hun inplanting in de inrichting;
- 5) het onderzoek en de voorafgaande goedkeuring van proefnemingen en behandelingen die gevaar zouden kunnen opleveren en die niet eerder in een gelijke vorm werden goedgekeurd;
- 6) de ontvangst van nieuwe installaties;
- 7) het toezicht op de juiste werking en gebruik van meetinstrumenten;
- 8) het onderzoek en de voorafgaande goedkeuring van ontwerpen voor vervoer van radioactieve stoffen (binnen of buiten de inrichting) en die niet eerder in een gelijke vorm werden goedgekeurd;
- 9) het toezicht op het inpakken, het laden en het lossen van radioactieve stoffen, alsook op het naleven van de reglementen terzake;

- 10) het bepalen van de stralingsintensiteit en de aanduiding van de aard van de straling; het bepalen van de besmettingen van lokalen; het bepalen van de doses en besmetting van personen;
- 11) het bepalen van de omstandigheden waarin accidentele blootstellingen plaatsvonden;
- 12) de studie van maatregelen om incidenten, ongevallen, verlies of diefstal van radioactieve stoffen te voorkomen.

Bij ongeval, incident of verlies van radioactieve stoffen moet de dienst voor fysische controle de nuttige maatregelen nemen om het gevaar te keer te gaan en de erkende geneesheer verwittigen bij uitzonderlijke blootstellingen. Hij moet tevens de omstandigheden waarin het voorval gebeurde bestuderen en aanbevelingen formuleren om mankementen te verhelpen en herhaling te voorkomen.

Aan het erkende organisme worden de volgende taken toevertrouwd:

- 1) het toezicht op de goede werking van de dienst voor fysische controle;
- 2) de goedkeuring van sommige beslissingen van de dienst voor fysische controle (opdrachten 4, 8 en, voor zover het om splijtstoffen gaat, 5);
- 3) de keuring voor ontvangst van de installaties in de inrichtingen van klasse I en II; deze installaties mogen enkel in bedrijf gesteld worden indien het proces-verbaal gunstig is en de inbedrijfstelling uitdrukkelijk toelaat;

- 4) de controle van de bliksemafleiders die radioactieve stoffen bevatten: indien het verslag ongunstig is, moeten die bliksemafleiders als radioactieve afval behandeld worden en afgevoerd worden door de Nationale Instelling voor Radioactief Afval en Spleijtstoffen (NIRAS);
- 5) het verlenen van een schriftelijke toelating voor bewust aanvaarde uitzonderlijke blootstellingen;
- 6) het onderzoek van types van toestellen voor medisch gebruik van ioniserende stralingen.

Ook moet voor elke gekontroleerde zone een persoon aangesteld worden die er zorg voor draagt dat de veiligheidsmaatregelen worden nageleefd en dat de beveiligingsmiddelen in goede staat van werking verkeren. Die aangestelde voor de bewaking moet bij ongeval de dringende beschermingsmaatregelen treffen en onmiddellijk de diensten voor medische of fysieke controle verwittigen; hij moet hen tevens van elke toestand die hij abnormaal vindt op de hoogte brengen.

#### 4.2. Medische controle

Het medisch toezicht op de beroepshalve blootgestelde werknemers is min of meer uitgebreid (zie hiervoor het algemeen reglement op de arbeidsbescherming), naargelang de werknemer tot de categorie A of B behoort, d.w.z. een dosis kan oplopen van meer of minder dan 15 mSv per jaar. Het toezicht is toevertrouwd aan geneesheren die hiervoor erkend werden door de Minister van Volksgezondheid en Leefmilieu, na gunstig advies van de geneeskundige commissie van de Speciale Commissie.

De evaluatie van doses en besmettingen wordt in overleg met de dienst voor fysische controle opgemaakt.

Elk jaar moet de opgave van de individuele doses van de beroepshalve blootgestelde werknemers aan het Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid toegestuurd worden, die er een kopie van doorstuurt naar zijn collega van Leefmilieu.

#### 4.3. Radiofarmaceutische controle

Er wordt een farmacologisch en fysico-chemisch toezicht uitgevoerd op de konformiteit en de kwaliteit van radioisotopen of preparaten die er bevatten en die in de geneeskunde gebruikt worden. Dit toezicht is vereist zowel bij de fabricage als bij de invoer in België.

Deze controle mag enkel uitgevoerd worden door apothekers die hiervoor erkend werden door de Minister van Volksgezondheid, na advies van een erkenningscommissie.

#### 5. Slotbeschouwingen

Uit hetgeen voorafgaat moge blijken dat het toezicht op de naleving van de reglementering inzake stralingsbescherming op verschillende niveaus plaatsvindt: op het niveau van de inrichting zelf (dienst voor fysische controle), op het niveau van het erkend organisme en op het niveau van de bevoegde diensten van de betrokken Ministeries. Naargelang het belang van de activiteit en de risico's die er aan verbonden zijn, wordt een enkelvoudige of een meervoudige controle voorgeschreven.

Résumé

Le présent article décrit la manière dont la surveillance du respect de la réglementation en matière de protection radiologique est organisée en Belgique.

Abstract

This article describes the way how the control of the respect of the regulatory provisions in the field of radiological protection is organized in Belgium.

ORGANISATION ADMINISTRATIVE ET PRATIQUE DE LA RADIOPROTECTION

J. Delhove - Secteur Controlatom de AIB-VINCOTTE ASBL organisme agréé

Résumé.

L'organisation de la radioprotection dans les établissements classés est régie par l'A.R. du 28.02.63.

Elle repose sur le service de contrôle physique de l'établissement classé, dirigé par un expert en radioprotection, et sur les organismes de contrôle physique agréés par l'état.

Les conditions d'agrément, les devoirs, les moyens et la surveillance exercée par l'état sur les organismes agréés et les services de contrôle physique sont passés en revue.

L'article détaille les missions des services de contrôle physique et émet quelques réflexions sur les problèmes rencontrés en pratique.

1. Introduction.

L'organisation de la radioprotection est basée sur de l'A.R. du 28 février 1963. Cette organisation se situe à deux niveaux qui seront successivement décrits :

- l'organisme agréé de contrôle physique.
- le service de contrôle physique de l'entreprise.

2. L'organisme agréé.a) Conditions d'agrément

L'organisme agréé doit satisfaire aux conditions d'agrément énoncées à l'art. 74.2 de l'A.R. Ces conditions imposent entr'autres :

- l'organisme agréé doit avoir la forme d'une association sans but lucratif
- il doit s'engager à ne pas s'exonérer de sa responsabilité civile à l'égard des personnes qui font appel à ses services dans le cadre du règlement.
- il s'engage à ne prendre à son service, en vue de l'exécution de ses missions, que des experts agréés.
- le directeur d'un organisme de classe I ou II doit être un expert agréé de classe I ou de classe II.

L'agrément est accordée ou refusée conjointement par les Ministres de tutelle, le Ministre de l'Emploi et du Travail et le Ministre de la Santé Publique.



b) Devoirs

La législation impose aux organismes agréés des obligations strictes qui excluent les activités à but lucratif et marquent l'indépendance de l'organisme agréé, de son directeur et de ses experts vis-à-vis des fournisseurs, constructeurs des matériels et des installations qu'ils contrôlent.

Ainsi, l'organisme agréé ne peut faire le commerce des substances radioactives, ni assurer l'évacuation des déchets. Il ne peut contrôler les appareils ou les installations à l'étude desquels il a collaboré à moins que ces études ne portent que sur des problèmes de sécurité ou sur la conformité aux prescriptions réglementaires, etc.

Le directeur et les experts agréés sont tenus à un devoir de discrétion. Ils ne peuvent même après avoir cessé leur fonction, révéler les faits dont ils auraient eu connaissance en raison de leur fonction et qui auraient un caractère confidentiel de par leur nature.

c) Moyens

L'article 23.7 précise que les contrôles effectués dans les établissements doivent être effectués par des experts agréés de la même classe ou d'une classe supérieure à celle de l'établissement.

L'organisme agréé doit avoir à son service une équipe d'experts agréés suffisante pour assurer ses missions légales.

L'organisme dispose du matériel nécessaire à l'exécution des contrôles pour lesquels il est agréé, en particulier des moyens de mesure (appareils portatifs, standard d'étalonnage et laboratoire de mesures radioactives).

d) Pouvoir

Il faut souligner que l'organisme agréé ne dispose d'aucun pouvoir ni législatif, ni normatif, ni administratif. La surveillance de l'application de la réglementation incombe aux bourgmestres et aux fonctionnaires de l'administration de l'Hygiène Publique, de la Sécurité du travail, de l'Hygiène et de la Médecine du Travail,...

Les organismes doivent se conformer aux instructions qui leur sont données par les ministres compétents en matière d'exécution des contrôles.

Les rapports de l'organisme permettent de vérifier que toutes les dispositions réglementaires sont satisfaites. Tous les rapports sont classés dans le dossier de contrôle physique de l'établissement et sont à la disposition des fonctionnaires chargés de la surveillance. De plus, les rapports marquants la vie de l'entreprise tels que le procès-verbal de réception, les rapports d'accidents (dépassement des normes) et les tableaux d'irradiation du personnel sont obligatoirement communiqués à l'Autorité Publique.

### e) Surveillance

Outre cette tutelle administrative, les activités de l'organisme sont soumises à une surveillance exercée par une Commission de surveillance. Cette commission est paritaire et comprend des représentants des employeurs et des représentants des travailleurs (organisations syndicales). Elle est présidée par un fonctionnaire appartenant à l'administration de la sécurité du travail.

La Commission vérifie si l'organisme respecte les dispositions du règlement et formule des avis sur le fonctionnement de l'organisme. La Commission de surveillance est particulièrement attentive aux moyens dont dispose l'organisme agréé pour accomplir sa mission. Elle remet en fin d'année un rapport sur son activité au Conseil Supérieur de Sécurité, d'Hygiène et d'Embellissement des lieux de travail.

### 3. Les missions de l'organisme agréé

Dans les établissements de classe I, le chef d'entreprise est tenu de confier à un organisme agréé de classe I :

- la réception de l'établissement autorisé par l'autorité compétente.
- le contrôle permanent de la bonne exécution de la mission du service de contrôle physique de l'établissement.
- le contrôle et l'approbation des décisions favorables du service de contrôle physique.
- en ce qui concerne le transport, la surveillance permanente du chargement, du transport et du déchargement des substances en quantité dépassant la moitié de la masse critique minimum.

Rappelons que la notion de contrôle permanent doit être comprise comme une information permanente de l'organisme agréé et non une présence permanente de l'expert sur place.

Dans les établissements de classe II, le chef d'entreprise est tenu de confier à un organisme agréé de classe I ou II :

- la réception de l'établissement.
- et si le service de contrôle physique n'est pas assuré directement par un organisme agréé, le chef d'entreprise est tenu de confier à un organisme agréé de classe I ou II :
- le contrôle de la bonne exécution par le service de contrôle physique de l'établissement de sa mission.
- le contrôle et l'approbation des décisions favorables de ce même service.

Ce contrôle est au moins trimestriel.

Lorsque l'établissement de classe II ne dispose pas d'un expert agréé de classe I ou II, il doit confier à un organisme agréé de classe I ou II, et à lui seul, toutes les missions du service de contrôle physique.

Dans ce cas, l'organisme agréé prend en charge toutes les missions de contrôle physique.

Cette mission est évidemment permanente au sens défini plus haut. La fréquence des interventions de l'organisme agréé doit alors être fixée en fonction des conditions propres à chaque entreprise : nature et niveau du risque, modifications des conditions de travail, etc. L'intervalle entre les interventions ne peut évidemment excéder le trimestre.

Dans l'établissement de classe III, le chef d'entreprise est tenu de confier à un organisme agréé :

- le contrôle de la bonne exécution de la mission du service de contrôle physique de l'établissement.
  - le contrôle de l'approbation des décisions favorables de ce service.
- Ce contrôle est au moins annuel.

Lorsque l'établissement ne dispose pas d'un expert agréé, le chef d'établissement doit confier à un organisme agréé de classe I ou II toutes les missions de contrôle physique de l'établissement.

La fréquence des interventions de l'organisme agréé doit être adaptée au niveau du risque et aux conditions de travail de l'établissement. L'intervalle entre les interventions ne peut évidemment excéder l'année.

#### 4. La réception des établissements de classe I et II

La réception des établissements est une des missions principales dévolues aux organismes agréés.

Elle concerne les dispositifs de protection, les installations et leur conformité avec les documents de la demande d'autorisation.

Elle porte sur la vérification du respect des dispositions générales du règlement et des conditions particulières imposées à l'établissement par l'arrêté d'autorisation qui lui aura été délivré par l'Autorité.

La mise en marche de l'installation ne peut avoir lieu que si le procès-verbal de l'organisme agréé est entièrement favorable et autorise formellement cette mise en marche.

Le procès-verbal contenant des réserves à la mise en exploitation conduit donc à un refus de la mise en exploitation.

Il est par contre de pratique courante pour des installations complexes, de fractionner la réception ou de la limiter (p. ex travail à puissance réduite, ou activité réduite) ou encore de la limiter dans le temps.

La date de la mise en exploitation doit être communiquée aux fonctionnaires chargés de la surveillance.

Une copie conforme du procès-verbal de réception doit leur être transmise.

Pour effectuer la réception d'un établissement, il faut qu'un arrêté d'autorisation ait été délivré, c'est une évidence.

La pratique montre que :

- 1) Les délais imposés par la procédure administrative sont souvent longs et parfois inconciliables avec la réalité économique.
- 2) La législation manque de souplesse et reste fermée sur des schémas-type p.ex. il n'existe pas d'autorisation provisoire, à l'essai, etc. et la procédure de dérogation pour des essais occasionnels en dehors d'un établissement classé (prévu à l'art. 5.7 du règlement) est plus compliquée que la procédure d'autorisation d'établissement.
- 3) Des conditions techniques d'exploitation peuvent se révéler impraticables ou excessivement lourdes pour l'entreprise.

Dans ce cas une procédure de recours contre la décision est prévue par la réglementation.

Dans les établissements de classe III, l'organisme agréé effectuée en pratique une première visite avant mise en service équivalent à une réception.

##### 5. L'extension et la modification d'établissement

Tout projet de modification ou d'extension importantes doit faire l'objet d'une (nouvelle) demande d'autorisation adressée à l'Autorité.

On observe une tendance de l'administration à considérer assez rapidement une modification comme importante (surtout et paradoxalement pour de petits établissements) et d'exiger d'introduire une nouvelle demande d'autorisation. Cette pratique nous paraît une interprétation excessive de la réglementation.

Si en toute logique, l'administration doit rester seule juge du critère d'importance ou non importance des modifications, il est indispensable qu'un consensus s'établisse sur ce que l'on peut considérer comme une modification non importante et d'éviter de la sorte d'en faire chaque fois la demande formelle.

## 6. Le service de contrôle physique

Le chef d'entreprise est tenu d'organiser un service de contrôle physique et de protection.

Le service de contrôle physique est dirigé par le chef de service de sécurité et d'hygiène (prévu par le règlement général pour la protection du travail) ou par une personne placée directement sous son autorité.

Le chef du service de Contrôle Physique doit être un expert agréé de la classe de l'établissement ou d'une classe supérieure.

Dans les établissements de classe I, le chef de service de contrôle physique doit être un expert de classe I.

Dans les établissements de classe II ou de classe III, le chef du service de contrôle physique doit être un expert agréé de la classe de l'établissement ou d'une classe supérieure.

Pour rappel, dans les établissements de classe II ou de classe III, à défaut d'avoir un expert à son service, le chef d'entreprise doit confier les missions du service de contrôle physique à un organisme agréé de classe I ou II.

Dans les entreprises qui effectuent un transport soumis à autorisation spéciale, le chef du service de contrôle physique doit être un expert de classe I ou II.

Les arrêtés d'agrément d'experts de classe I stipulent actuellement l'extension éventuelle de la compétence aux transports des matières fissiles.

Dans les entreprises qui effectuent un transport soumis à une autorisation générale ou particulière, le chef du service de contrôle physique doit être un expert de classe I, II ou III.

A défaut d'avoir un expert à son service, le chef d'entreprise qui effectue une transport, doit confier les missions de contrôle physique à un organisme agréé de classe I ou II.

Remarque

Il apparaît de plus en plus, que des entreprises qui ne sont pas des établissements classés peuvent occuper du personnel professionnellement exposé; ce sont notamment des entreprises de louage de services ou des entreprises de maintenance qui effectuent des prestations ou prêtent leur personnel à des établissements classés. Il doit être évident que ces entreprises, au même titre que les établissements de classe IV sont soumises au respect des dispositions générales de l'Arrêté Royal.

A défaut d'autre disposition, c'est au service de contrôle physique de l'établissement d'accueil qu'il incombe d'assurer les missions de surveillance de ce personnel.

Toutefois, cette situation présente des inconvénients et des lacunes p.ex sur le plan de la dosimétrie (cumul des doses) ou sur le plan de la sécurité (prise en compte de risques propres) etc. Pour toutes ces raisons, nous préconisons que les entreprises de services disposent de leur propre service de contrôle physique ou recourent à un organisme agréé.

Il serait souhaitable que l'Arrêté Royal prenne mieux en compte la sécurité de ce personnel comme cela a déjà été soulevé à plusieurs reprises.

Les moyens du service de contrôle physique

Les dispositions réglementaires n'imposent aucun critère pour les agents du service de contrôle physique. Nombre de tâches sont effectuées par des agents de la radioprotection qui n'ont pas la qualification d'expert, sous la responsabilité du chef de service. L'arrêté d'autorisation, dans certains cas (p.ex dans les établissements de classe I) fixe le cadre organique, l'effectif et la qualification du personnel du service de contrôle physique. L'organisme agréé doit apprécier l'adéquation des moyens du service de contrôle physique

Les missions du service de contrôle physique

Les missions du service de contrôle physique sont décrites au point 1 du même article 23. Le service de contrôle physique est chargé d'une manière générale de l'organisation et de la surveillance des mesures nécessaires pour assurer l'observation des dispositions du règlement concernant la sécurité et l'hygiène du travail, la sécurité et la salubrité du voisinage à l'exclusion des dispositions réservées au contrôle médical.

Parmi les 11 missions générales reprises à l'art. 23.1 de l'A.R., nous retiendrons les points suivants :

a) Délimitation des zones contrôlées.

La délimitation des zones contrôlées est une mission importante du contrôle physique. Cette délimitation entraîne évidemment toute une série de contraintes administratives réglant l'accès à la zone contrôlée et les moyens de protection individuelle imposés aux travailleurs de cette zone.

La modification de la réglementation en 1987 concernant les définitions de la zone contrôlée et des travailleurs professionnellement exposés de catégorie A a apporté une clarification de la réglementation sans la modifier fondamentalement.

Dans des situations limites, comme par exemple dans le cas de l'assistante dentaire, le ministère n'a pas modifié son point de vue et classe ce personnel comme professionnellement exposé de catégorie A, et cela même si l'assistante est supposée quitter la salle d'examen au moment de la prise de cliché.

b) Examen et approbation préalable des projets d'installation.

Le service de contrôle physique doit effectuer l'examen et l'approbation préalable des projets d'installation lorsque ces projets n'impliquent pas une nouvelle autorisation conformément au chapitre 2 du règlement.

Cette restriction est malheureuse car l'esprit de la réglementation ne dispense certainement pas de procéder à un examen préalable du projet dans tous les cas y compris lorsque celui-ci doit faire l'objet d'une nouvelle demande d'autorisation, d'extension ou de modification importante.

Que doit faire le contrôle physique dans ce cas ?

La procédure réglementaire de demande d'autorisation du chapitre II n'est pas plus explicite. La demande doit comprendre : .....

- plus généralement toutes mesures et dispositifs préconisés en vue d'assurer le respect des normes de base.
- un rapport décrivant les accidents les plus graves pouvant survenir aux installations et évaluant leur probabilité.
- une note indiquant les mesures proposées pour la disposition, l'épuration et l'évacuation des déchets radioactifs éventuels...

En bonne pratique, le service de contrôle physique ou l'organisme agréé établit une étude de sûreté ou de conformité aux dispositions réglementaires qui est jointe à la demande d'autorisation.

Il est à notre sens indispensable d'impliquer le service de contrôle physique ou l'expert de contrôle physique, le plus tôt possible lors de l'élaboration d'un projet d'établissement soumis à la réglementation. En effet, c'est au stade de l'élaboration du projet qu'il est le plus facile d'apporter des modifications ou de prévoir les moyens de protection qui pourraient éviter bien des déboires en cours d'exploitation.

Il faut constater que trop souvent encore, on commande des équipements (jauge radioactives p.ex) on modifie des installations, on effectue des expériences, sans avertir au préalable le service SHE, le service de contrôle physique ou l'organisme agréé chargé du contrôle physique. Non seulement cette procédure ne respecte pas la réglementation mais encore elle conduit souvent à des mécomptes tels que des délais supplémentaires pour obtenir des autorisations nécessaires ou des situations en infraction avec la réglementation.

Il n'est pas inutile de rappeler que toute commande d'installation, de machines, etc. doit faire l'objet d'un examen préalable dans le cadre de la politique de prévention et de l'article 54 quater du R.G.P.T. Cette procédure est également d'application dans le domaine des radiations ionisantes.

### c) Transport

Le service de contrôle physique doit assurer la surveillance de l'emballage du chargement et du déchargement à l'intérieur de l'établissement des substances radioactives ou fissiles. Le règlement précise que le service de contrôle physique vérifie également si les dispositions réglementaires en vigueur sont respectées, y compris celles concernant le transport.

Cette mission recouvre en partie les obligations du service de contrôle physique du transporteur. Celui-ci sera plus particulièrement chargé des dispositions réglementaires concernant le transport et la sécurité du transport. Ce service sera également chargé d'intervenir en cas d'incident de transports.



## d) Détermination des doses individuelles.

Le service de contrôle physique est chargé de la détermination des doses individuelles et des contaminations radioactives de personnes. Ces déterminations doivent se faire en concertation avec le médecin chargé de la surveillance des travailleurs.

Les modifications de la réglementation en 1987 ont changé les limites de doses et introduit la notion de dose cumulée sur des périodes glissantes de 2 et 12 mois.

La surveillance de la femme en état de procréer (8 mSv/2 mois glissants) demande un effort supplémentaire dans l'organisation de la dosimétrie (renvoi des dosimètres plus rapidement, transmission des résultats, identification correcte du porteur du dosimètre et des données administratives le concernant)

## e) Exposition accidentelle

La modification de l'A.R. de 1987 impose aussi au service de contrôle physique de déterminer les circonstances dans lesquelles les expositions accidentelles se sont produites et justifie de la sorte une procédure déjà largement en usage.

Cet article ne modifie pas la pratique courante de procéder à un examen approfondi des causes d'incident, à leurs conséquences et des remèdes à apporter pour éviter le renouvellement.

Cet examen doit être réalisé en concertation avec le médecin du travail et éventuellement les fonctionnaires de l'inspection médicale du Travail.

Le service du contrôle physique doit être informé des suites administratives données (retrait du travail, surveillance renforcée, limite de dose abaissée).

### Samenvatting.

De organisatie van stralingsbescherming in de geklasseerde inrichtingen wordt vastgelegd door het K.B. van 28.02.63. (révisé in 1987)

Zij steunt op de diensten voor de fysische controle georganiseerd door het hoofd van de geklasseerde inrichting en op het controleorganisme erkend door de Staat.

De erkenningsvoorwaarden, de plichten, de middelen en het toezicht uitgevoerd op de erkende controleorganismen en de diensten van fysische controle worden in oogschouw genomen.

Het artikel stipt eveneens de respectievelijke opdrachten aan en brengt enkele opmerkingen aan over de problemen die men in de praktijk ontmoet.

### Summary.

The organisation of the radiationprotection in the classified establishments is described in the royal decree of 28 february 1963 (amended in 1987). The organisation is based on the "service for fysical control" (of radiation) of the plant under the direction of the radiation expert, and organisms for physical control (of radiation) licensed by the state.

The conditions for licensing of the experts and organism for physical control of radiation, their duties and means and the supervision of the system by the state are described.

The missions of each service and pratical inconvenients are discussed.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 14, n° 4 (1989)

LA TRADUCTION BIOLOGIQUE D'UNE EXPOSITION AUX  
RAYONNEMENTS IONISANTS

André Wambersie

Unité de Radiobiologie et de Radioprotection  
Université Catholique de Louvain  
Cliniques Universitaires St-Luc  
1200 - Brussels, Belgium

"Accidents nucléaires et leurs Conséquences médicales"  
Journée d'Etude du 18 novembre 1988  
Hôpital Militaire de Bruxelles  
1120 - Bruxelles

Résumé

Les deux grands types de pathologie provoqués par les rayonnements ionisants sont revus : les effets précoces et les effets tardifs. Les effets précoces apparaissent dans les jours ou semaines qui suivent une irradiation à dose élevée. Le syndrome nerveux, gastro-intestinal et médullaire, ainsi que les radiodermites sont décrits. Les effets tardifs peuvent être, soit la conséquence à long terme d'une exposition à dose élevée, soit la conséquence de l'accumulation répétée de petites doses de rayonnement. Parmi les effets tardifs, l'induction de cancers et le risque génétique sont les plus importants à considérer. Le coefficient de risque pour l'induction de cancers est exprimé par le nombre de cancers mortels radioinduits pour une dose absorbée unitaire. Dans son dernier rapport (1988), l'UNSCEAR estime le coefficient de risque entre 4,5 et 7 % par Gy (rayonnement à TLE faible, dose élevée délivrée à débit élevé). Pour les faibles doses et les faibles débits de dose (rayons-X et gamma), l'UNSCEAR recommande de réduire le coefficient de risque ci-dessus par un facteur compris entre 2 et 10. Le coefficient de risque aux faibles doses est difficile à évaluer car le taux de cancers radio-induits est petit comparé à l'incidence cancéreuse spontanée. Enfin, les caractéristiques des effets aléatoires et non-aléatoires sont décrits. Les effets non-aléatoires comprennent les effets aigus, mais également les radiodermites chroniques et la cataracte. Par contre, la cancérogénèse et le risque génétique sont des effets aléatoires.

Une exposition aux rayonnements ionisants provoque, au niveau des tissus ou organes irradiés, des ionisations et des excitations, qui à leur tour vont provoquer des modifications chimiques et biochimiques. Celles-ci aboutiront à des lésions à l'échelle des cellules et des tissus. Ce sont les principales lésions cellulaires et tissulaires que nous allons décrire dans ce bref exposé.

Les effets biologiques produits par les rayonnements ionisants sont de divers types et dépendent de différents facteurs (Tableau I)

### **La dose absorbée**

L'importance de l'irradiation est définie par l'énergie déposée localement. La dose de rayonnement - ou la dose absorbée - en un point est définie par l'énergie déposée en ce point, par unité de masse. La dose absorbée s'exprime en gray (Gy). Un gray = 1 joule par kilogramme. L'ancienne unité de dose absorbée était le rad (1 gray = 100 rads).

La dose absorbée est un facteur essentiel qui détermine l'effet biologique produit par une irradiation. L'effet sera d'autant plus marqué que la dose est plus élevée. A la limite, si la dose est suffisamment élevée, tout tissu vivant, ou organe, sera détruit.

### **Les tissus ou organes irradiés**

On distingue l'irradiation externe, totale ou partielle, et la contamination interne, par ingestion ou inhalation de radionucléides. En cas d'irradiation externe, une personne est exposée à une source d'irradiation qui lui est extérieure (par exemple : un examen radiologique). Cette exposition est dite totale lorsque l'ensemble du corps est irradié; elle est dite partielle lorsque seule une partie du corps est irradié (par exemple : la tête et les mains, le reste du corps étant protégé par un écran).

Comme exemple de contamination interne, considérons le nuage radiatif venu de Tchernobyl qui a déposé au niveau du sol différents types de radionucléides et, en particulier, de l'iode-131. Cet iode-131 est déposé au niveau des végétaux qui servent à l'alimentation du bétail; la vache concentre l'iode radioactif dans le lait et celui-ci est finalement bu par l'homme. L'iode radioactif (qui suit le même chemin métabolique que l'iode stable) va se concentrer au niveau de la thyroïde. Il s'agit d'une irradiation interne à partir d'un radionucléide ingéré puis concentré au niveau d'un organe (Fig. 1).

Seuls les tissus ou organes irradiés présenteront des lésions. Ainsi, en cas d'irradiation partielle des mains, le reste du corps étant protégé, seules les parties exposées seront lésées et cela d'autant plus gravement que la dose aura été plus élevée.

### **La nature du rayonnement**

A dose absorbée égale, c'est-à-dire à énergie déposée égale, différents types de rayonnement peuvent produire des effets biologiques

différents. Ainsi, par exemple, les neutrons et les particules alpha sont, à énergie égale, plus dangereux que les rayons-x ou les rayons gamma.

### **Le facteur temps**

Enfin, il faut tenir compte du facteur temps, c'est-à-dire de la manière dont l'irradiation est distribuée dans le temps. Il peut s'agir soit, d'une irradiation massive, de courte durée, ou au contraire, d'une irradiation étalée, délivrée à débit lent ou d'une succession de petites doses qui s'accumulent progressivement au cours du temps.

On peut classer les effets biologiques produits par les rayonnements ionisants selon différents critères (Tableau II).

On peut, tout d'abord, les classer selon le moment d'apparition : on parle **d'effets précoces** et **d'effets tardifs**. Les effets précoces sont définis comme étant ceux qui se produisent dans les jours ou les semaines qui suivent l'irradiation. Les effets tardifs apparaissent après six mois, un an, voire plusieurs d'années ou dizaines d'années après l'irradiation.

Par ailleurs, on peut classer les effets biologiques en effets **somatiques** et **génétiques**. On parle d'effets somatiques lorsque c'est la personne irradiée elle-même qui subit les effets de l'irradiation. Par contre, on parle d'effets génétiques quand c'est la descendance (première génération ou générations ultérieures) qui subit les effets de l'irradiation.

En cas d'irradiation du fœtus, il s'agit d'un effet somatique. Le fœtus est plus radiosensible que l'adulte, d'où les précautions particulières qui sont prises pour éviter l'irradiation de la femme enceinte.

Enfin, on peut classer les effets produits par les rayonnements ionisants selon leur caractère **aléatoire** ou **non-aléatoire**. Cette distinction convient très bien en radioprotection. Nous définirons plus loin les effets aléatoires et non-aléatoires (Tableau VI).

Notre exposé sera divisé en deux grandes parties. Nous décrirons, tout d'abord, les **effets aigus** survenant dans les jours ou semaines suivant une exposition à doses massives. Dans une deuxième partie, nous discuterons des **effets à long terme** d'une exposition à dose massive ou d'une exposition -répétée ou non- à de petites doses de rayonnements ionisants.

## A. LES EFFETS PRÉCOCES D'UNE IRRADIATION A DOSE ELEVEE

Chez l'homme, des données systématiques concernant les effets des doses massives (plusieurs grays) ne sont pas disponibles et il faut donc se référer aux études faites sur mammifères, principalement les rats et les souris, mais également le porc, le singe et le chien. Par ailleurs, l'étude des populations irradiées à Hiroshima et Nagasaki, les quelques irradiations accidentelles, plus récemment les irradiés de Tchernobyl, mais également la très large expérience acquise en radiothérapie, permettent d'évaluer dans quelle mesure les données animales peuvent être extrapolées à l'homme.

### 1. Le syndrome nerveux

Dans une gamme de dose très élevée, au-delà de 50 Gy, le **syndrome nerveux** est responsable de la mort des accidentés dans les 48 heures. Il se caractérise par l'apparition quasi immédiate de désorientation, apathie, ataxie, prostration, et fréquemment de convulsions. Celles-ci font souvent suite à des stimuli extérieurs, même minimes. La mort est liée à différents facteurs : lésions vasculaires, myélite, méningite et encéphalite. Un œdème cérébral marqué a été mis en évidence lors d'autopsies chez des animaux; il est responsable d'une hypertension intracrânienne grave, et s'accompagne d'une infiltration granulocytaire du tissu cérébral. A ce stade, aucune thérapeutique ne peut sauver le malade.

### 2. Syndrome gastro-intestinal et syndrome médullaire chez l'animal.

La figure 2 présente, à titre d'exemple, les résultats d'une expérience simple réalisée chez la souris : différents lots d'animaux sont irradiés à dose croissante. Aucune mortalité n'apparaît, à 30 jours, pour des doses égales ou inférieures à 4 Gy. Au delà, des morts apparaissent; elles sont d'autant plus fréquentes et apparaissent d'autant plus précocement que la dose a été plus élevée. Schématiquement, on peut distinguer deux vagues de mort qui correspondent à deux pathologies bien distinctes par la dose, la chronologie, la symptomatologie et les mécanismes mis en jeu.

Peu de décès sont observés jusqu'au cinquième jour; puis, du cinquième au huitième jour, une première vague de mort apparaît. Le pourcentage d'animaux tués est d'autant plus grand que la dose était élevée, et la dose tuant 50 % des animaux à 5 jours (DL 50/5) est de 11,5 Gy pour la souche de souris irradiée et dans les conditions expérimentales de la figure 2. L'autopsie des animaux morts dans cet intervalle montre que leur décès est lié à la destruction de la muqueuse intestinale, provoquant d'une part une perte de liquides et d'électrolytes, et d'autre part une résorption massive de bactéries et de toxines présentes dans l'intestin. Ceci est désigné sous le nom de **syndrome intestinal** ou **syndrome gastro-intestinal**.

Une seconde vague de mort touche les animaux entre le dixième et le vingtième jour. Les animaux meurent de ce qu'on appelle le **syndrome médullaire**. Le sang circulant comporte différents types de cellules : (1) les

globules rouges, (2) différents types de globules blancs (lymphocytes, polynucléaires, plasmocytes) qui aident l'individu à se défendre contre les infections et (3) les plaquettes sanguines qui interviennent dans la coagulation du sang.

Ces cellules circulantes s'éliminent normalement au bout d'un temps déterminé : environ 100 jours pour les globules rouges, 2 à 3 semaines pour les globules blancs et les plaquettes). Dans les conditions normales, elles sont remplacées par la multiplication des cellules souches qui se trouvent dans la moelle osseuse (tous les os contiennent de la moelle osseuse).

En cas d'irradiation à dose élevée, les cellules souches de la moelle osseuse (qui ont gardé leur pouvoir de prolifération et qui sont parmi les plus radiosensibles de l'organisme) sont tuées. L'irradiation sera sans effet sur les éléments différenciés du sang, mais ceux-ci s'élimineront progressivement et ne seront pas remplacés.

La mort est la conséquence d'une leucopénie (manque de globules blancs) et d'une thrombopénie (manque de plaquettes), et le malade succombe aux infections et aux hémorragies. Les lymphocytes disparaissent en quelques heures et les organes lymphoïdes sont gravement lésés, diminuant des défenses immunitaires.

Le délai d'apparition du syndrome médullaire (10 à 20 jours chez la souris) s'explique par la durée de vie des leucocytes et des plaquettes ainsi que de leurs précurseurs immédiats en voie de maturation dans la moelle. La dose létale 50 % pour le syndrome médullaire (DL 50/50) est de 6.7 Gy pour la souche de souris évaluée.

Le syndrome médullaire apparaît donc plus tard que le syndrome intestinal, mais est produit par des doses plus faibles. Ainsi, les animaux qui ont échappé au syndrome gastro-intestinal peuvent quelques jours plus tard mourir de syndrome médullaire.

### **3. Syndrome intestinal et syndrome médullaire chez l'homme**

Chez l'homme, on retrouve les mêmes mécanismes de mort par syndrome intestinal et médullaire, mais ils diffèrent quant à la chronologie et aux niveaux de dose. Les temps de latence sont allongés : le syndrome intestinal est le plus marqué chez l'homme vers le dixième jour, et le syndrome médullaire vers le trentième jour (Fig. 3). Par ailleurs, la dose létale 50 % par syndrome médullaire est plus basse chez l'homme, de l'ordre de 3 à 4 Gy (il s'agit de la dose létale - en l'absence de traitement - pour une irradiation touchant l'entièreté de la moelle osseuse). On n'observe que rarement un décès en dessous de 2 Gy; il s'agit dans ce cas de sujets plus sensibles que la moyenne (âge, maladie intercurrente, etc...) (Fig. 4). La limite supérieure de tolérance chez l'homme est de l'ordre de 7 Gy en l'absence d'intervention médicale. Grâce à une greffe de moelle osseuse et à un traitement intensif, certaines personnes ont pu survivre à la dose de 12 Gy.

Les doses létales pour quelques espèces de mammifères sont présentées dans le Tableau III. Elles sont d'autant plus basses que le poids du corps est plus élevé.

#### 4. Les brûlures cutanées

Les brûlures cutanées sont à craindre surtout dans le cadre des irradiations professionnelles :

- a) chez des personnes utilisant des appareils à rayons-X ou des sources gamma à fort débit. Il s'agit alors généralement d'une irradiation limitée aux mains et parfois aussi à la tête.
- b) chez des personnes manipulant (imprudemment) des sources radioactives. Des doses très élevées peuvent ainsi être atteintes au niveau des mains.
- c) lors de la manipulation de radionucléides émetteurs bêta.

Après un accident nucléaire, on peut observer une large dispersion de radionucléides émetteurs bêta, lesquels peuvent provoquer des brûlures cutanées.

Les rayons bêta (électrons) sont caractérisés par un faible pouvoir de pénétration (quelques millimètres) dans les tissus ou dans l'eau. A proximité du lieu de l'accident, il existe donc un risque de brûlures cutanées (radiodermites aiguës) dont le pronostic dépend de leur étendue et de leur profondeur. Ce sont évidemment les parties découvertes qui seront le plus irradiées, les vêtements absorbant une partie du rayonnement bêta. En ce qui concerne la dose, quelques Gy provoquent un érythème transitoire, mais une dose de 10-15 Gy entraîne la destruction de la peau (ulcérations) dans un délai de deux à trois semaines. Ce délai s'explique par le temps de transit des kératocytes (cellules différenciées de la peau); seules les cellules souches de l'épiderme (les cellules basales) sont radiosensibles et seront détruites par l'irradiation.

L'accident de Tchernobyl a attiré l'attention sur le danger des brûlures cutanées dues aux radionucléides émetteurs bêta répandus à haute concentration autour du lieu de l'accident. Alors que normalement les brûlures par rayonnement bêta -peu profondes- ont un assez bon pronostic, leur gravité augmente chez les personnes irradiées simultanément par rayons gamma, lesquels dépriment, par ailleurs, l'immunité et la leucocytose.

Les brûlures chez les irradiés sont une leçon importante de l'accident de Tchernobyl. Elles illustrent la nécessité de la mise sur pied d'équipes pluridisciplinaires, préparées et coordonnées, associant radiobiologistes, hématologues et chirurgiens spécialistes des traitements des grands brûlés.



## **B. LES EFFETS TARDIFS D'UNE EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS**

Les effets tardifs peuvent être :

- 1) la conséquence à long terme d'une irradiation à forte dose. Il peut s'agir, soit d'une irradiation totale (pour des doses qui n'ont pas été létales), soit d'une irradiation partielle. En pratique, il s'agit souvent de lésions de la peau des mains.
- 2) la conséquence à long terme de l'accumulation progressive de petites doses de rayonnements.

### **1. Effets tardifs au niveau de la peau - Les radiodermites chroniques**

Les cas observés sont, soit des irradiations professionnelles accidentelles, soit des accidents de radiothérapie. Les uns et les autres sont heureusement peu nombreux à l'heure actuelle.

Une radiodermite chronique, telle qu'elle peut se présenter des années après une irradiation accidentelle à dose élevée, se caractérise par un manque de souplesse et d'élasticité de la peau. Celle-ci est plus fine, plus fragile que normalement. En cas de traumatisme, la guérison est difficile et lente, et une ulcération peut persister longtemps. On note également des lésions au niveau de la racine de l'ongle qui, par ailleurs, présente des stries longitudinales.

Des lésions semblables s'observent également après exposition chronique des mains aux rayonnements ionisants. Elles étaient courantes chez les pionniers de la radiologie et de la radiophysique. On les rencontre encore parfois chez :

- des radiologues qui ne respectent pas les consignes de radioprotection (p.ex. gants plombés lors des radioscopies);
- des dentistes qui ont l'habitude de tenir le film radiologique dans la bouche de leurs malades;
- des chirurgiens qui pratiquent certaines opérations sous radioscopie.

Le grand danger de ces lésions de radiodermite chronique est la cancérisation. De nombreux cancers de la peau des mains ont été observés, dans le passé, chez les professions mentionnées plus haut. Ces accidents sont, à l'heure actuelle, totalement évitables si l'on applique les consignes élémentaires de radioprotection.

### **2. L'induction de cancers. Données épidémiologiques chez l'homme**

Le problème n'est plus de démontrer l'effet cancérigène des radiations, mais de décrire la relation quantitative entre la dose et l'incidence des cancers radioinduits.

Avant de parler des tumeurs radioinduites, et sans tenir compte des sensibilités particulières liées à certaines affections congénitales, il faut

retenir la forte tendance de l'espèce humaine à faire des cancers multiples. Ceci rend difficile dans un cas particulier l'établissement d'un lien de causalité entre l'apparition d'une tumeur et l'exposition aux radiations. Seule une analyse statistique rigoureuse permet de déterminer l'existence d'une relation cause-effet, bien que la définition de groupes témoins soit très difficile en pratique.

Dans l'appréciation des risques liés à une exposition, nous ne parlerons pas des données expérimentales, par ailleurs abondantes, qui démontrent le pouvoir cancérigène des rayonnements ionisants. Nous considérons uniquement les informations apportées par les études épidémiologiques chez l'homme. Celles-ci dérivent de trois sources principales : les explosions nucléaires à Hiroshima et Nagasaki, les irradiations médicales (radiodiagnostic et radiothérapie) et les expositions professionnelles.

### **2.1. Hiroshima et Nagasaki**

La première population étudiée, première par le nombre, est celle des 285.000 survivants d'Hiroshima et Nagasaki, dont 75.991 hommes et femmes sont enregistrés dans une vaste étude (Life Span Study ou LSS) accompagnés de 26.517 sujets témoins (vivant dans des conditions voisines des sujets irradiés mais dans d'autres agglomérations, comparables par l'âge, le sexe, l'alimentation, le mode de vie général etc.).

Dans les deux villes, l'effet cancérigène des radiations s'est d'abord manifesté par une augmentation des leucémies, avec un pic en 1952, suivi d'une diminution de fréquence. A la fin des années 1970, on ne notait quasi plus de leucémies en excès par rapport aux groupes témoins. Tous les types cytologiques ont été rencontrés à l'exception de la leucémie lymphoïde chronique. Cette dernière n'a jamais été décrite, ni dans le cas des survivants japonais, ni dans aucune grande étude.

L'effet cancérigène des radiations se traduit également par l'induction de tumeurs solides, mais avec une latence beaucoup plus longue. Ainsi, le temps de latence moyen pour le cancer thyroïdien (évalué sur 20 malade) a été trouvé égal à 20,3 ans. Pour le cancer du sein, il a été trouvé égal à 22,6 ans. Après 30, 40 ans, on observe encore des cancers en excès dans la population irradiée par rapport à la population témoin (Fig. 7).

### **2.2 Irradiations médicales - Radiologie.**

Nous nous limiterons, à titre d'exemple, à une étude concernant des femmes traitées pour tuberculose et ayant subi de nombreuses radioscopies sur écran fluorescent. Un total de 1.764 femmes ont été recensées après traitement dans deux sanatoria entre 1930 et 1954. Un premier groupe (1.047) a été traité par pneumothorax, ce qui impliquait de très fréquentes radioscopies (102 en moyenne). Il faut noter qu'à l'époque les conditions techniques dans lesquelles on pratiquait les radioscopies n'étaient pas comparables à celles que nous connaissons aujourd'hui. En particulier, on ne disposait pas d'amplificateurs de brillance. La dose reçue au niveau du thorax (donc aussi au niveau des seins) a été évaluée entre 10

et 40 Gy. Dans ce groupe, on a observé 41 cancers du sein contre 23 qui seraient attendus dans un groupe témoin.

Par ailleurs, un deuxième groupe de 717 femmes ont été soumises, pour différentes raisons, à d'autres protocoles thérapeutiques qui ne nécessitaient pas des contrôles radioscopiques aussi fréquents. Dans ce deuxième groupe, 15 cancers du sein ont été recensés, alors que dans un groupe témoin on en attendait 14.

### 2.3 Irradiations professionnelles.

Nous avons choisi notre troisième exemple parmi les irradiations professionnelles. Les mineurs des mines d'uranium, en Tchécoslovaquie, ont fait l'objet d'une étude épidémiologique pleine d'enseignements. On sait que dans les mines d'uranium, du radon (qui est un gaz radioactif) s'accumule et est continuellement respiré par les mineurs. Les produits de désintégration du radon se déposent au niveau des muqueuses de l'arbre bronchique et des poumons. Il en résulte une irradiation par particules alpha (rayonnements à TLE élevé<sup>1</sup>).

Par ailleurs, l'étude a porté sur un autre agent cancérigène particulièrement dangereux : le tabac. Elle a conduit à l'estimation suivante sur le risque de cancers bronchiques (pour 1.000 sujets) :

- mineurs-fumeurs	60
- mineurs-non fumeurs	6
- non mineurs-fumeurs	15
- non mineurs-non fumeurs	1,5

Le risque de développer un cancer bronchique, pour les mineurs, est donc multiplié par 4; le risque de développer un cancer bronchique, pour les fumeurs, est donc multiplié par 10. En combinant les deux agents cancérigènes, on obtient un risque 40 fois plus grand (synergie multiplicative).

Cet exemple est particulièrement illustratif dans la mesure où nous sommes continuellement exposés à différents types d'agents cancérigènes (dont certains sont peut-être insoupçonnés) et pour lesquels une synergie éventuelle pourrait se montrer particulièrement redoutable.

Nous avons présenté, à titre d'exemple, trois études illustrant la relation entre l'irradiation à dose relativement élevée et l'induction de cancers. Il en existe d'autres, mais nous ne pouvons évidemment les passer toutes en revue.

### 3. Les coefficients de risque pour l'induction de cancers

A partir de l'ensemble des observations humaines, on peut déduire les coefficients de risque pour l'induction de cancers par les rayonnements ionisants. Nous présentons ici des coefficients récemment publiés par l'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report 1988). Il s'agit de risques de mort par cancer et non de risques d'induction de cancers.

<sup>1</sup> TLE = transfert linéique d'énergie

### 3.1. Domaine des doses élevées délivrées à débit élevé

Les coefficients de risque sont exprimés par les nombres de cancers radio-induits pour une dose absorbée de 1 Gy de rayons X ou gamma. L'UNSCEAR estime les coefficients de risque entre 4,5 et 7 % pour les rayons-X ou gamma (rayonnements à TLE faible<sup>1</sup>).

Ces chiffres signifient que, par millier de personnes exposées à la dose (relativement élevée) de 1 Gy, on aura à déplorer entre 45 et 70 cancers supplémentaires et, parmi ceux-ci, environ 10 leucémies. Les deux chiffres (45 et 70) proviennent du fait que le risque peut être évalué à partir de deux modèles (ou deux hypothèses) : le modèle du risque absolu et le modèle du risque relatif.

Dans le modèle du **risque absolu**, on admet que l'excès de la fréquence des cancers, dans la population irradiée, reste constant au cours de la vie. La courbe de fréquence, au cours du temps, reste donc parallèle à celle de la population témoin.

Dans le modèle du **risque relatif**, on admet que le pourcentage d'augmentation du taux de cancers est constant au cours du temps (et non le nombre absolu de cancers en excès). Or comme plus on vieillit, plus la fréquence des cancers augmente, le modèle du risque relatif prévoit que plus on augmente en âge, plus on augmente le nombre de cancers en excès. Pour les sujets irradiés jeunes, le modèle du risque relatif prédira donc un nombre de cancers beaucoup plus important que le modèle du risque absolu.

Le Tableau IV résume les coefficients de risque obtenus à partir de l'un et l'autre modèle et présente l'estimation du risque pour différents types de cancers.

Par ailleurs, le Tableau V précise le nombre d'années de vie perdues en raison de l'apparition de ces cancers. Quel que soit le modèle utilisé, il y a perte d'environ une année-homme pour une dose collective d'un homme-gray. Ces évaluations concernent une irradiation à dose élevée, délivrée à débit élevé, par rayons X ou gamma.

### 3.2. Domaine des faibles doses et des irradiations délivrées à débit lent

Nous appelons "faibles doses" des doses de l'ordre de 0,01 Gy (1 rad). Par débit lent ou irradiation fractionnée, nous entendons des petites doses qui s'accumulent, jour après jour, au cours d'une exposition professionnelle, ou des doses qui s'accumuleraient de manière continue en cas de contamination radioactive accidentelle (p.ex. de la chaîne alimentaire ou de l'environnement).

L'estimation des coefficients de risque est difficile principalement en raison de l'incidence élevée des cancers spontanés. Ceux-ci s'élèvent pour la population de la Communauté Européenne à 25-30 %. De plus, des facteurs comme le tabac, l'excès d'alcool et les habitudes alimentaires, influencent considérablement le risque de cancer. Il est, par conséquent,

---

<sup>1</sup> TLE = transfert linéique d'énergie

très difficile de mettre en évidence une augmentation du taux de cancer de l'ordre de quelques %, et il est impossible en présence d'un cas individuel de cancer de savoir si ce cancer a - ou non - été induit par une exposition aux rayonnements ionisants.

On peut affirmer qu'il n'existe aucune étude qui démontre de manière absolue et statistiquement significative que des faibles doses de rayonnements ionisants aient pu induire des cancers.

Pour évaluer le risque d'induction de cancers aux faibles doses, on est amené à extrapoler les observations recueillies pour les doses élevées. Cette extrapolation peut se faire selon différentes hypothèses :

1) l'extrapolation linéaire sans seuil

Elle implique que si l'on réduit la dose par 2, 10, 100 etc..., on réduit le risque par 2, 10, 100 etc.... Elle implique donc que le risque n'est jamais nul : elle constitue l'hypothèse pessimiste;

2) l'extrapolation avec seuil

Le risque est nul en dessous d'un certain seuil de rayonnements;

3) l'extrapolation avec seuil relatif (ou relation linéaire/quadratique.) Elle implique que le risque est faible aux faibles doses, puis croît avec la dose de telle manière que le risque, par unité de dose, est d'autant plus élevé que la dose est plus élevée.

Les données dont nous disposons actuellement indiquent que la relation entre le taux de cancers radio-induits et la dose de rayonnement se situe entre les hypothèses extrêmes qui sont l'extrapolation linéaire sans seuil et le seuil absolu. Par ailleurs, la relation réelle pourrait être plus ou moins proche de l'une ou l'autre hypothèse extrême selon le type de cancer considéré et la population concernée.

L'existence d'une relation avec seuil (relatif ou absolu) implique des phénomènes de réparation dont l'efficacité a été largement démontrée chez les mammifères. Pour en tenir compte, dans son dernier rapport (1988), l'UNSCEAR recommande, **pour les faibles doses de rayons X et gamma et les faibles débits de dose, de réduire les coefficients de risque mentionnés plus haut par un facteur compris entre 2 et 10.**

Dans le domaine des faibles doses, le débat entre les partisans de l'hypothèse de l'extrapolation linéaire sans seuil et ceux de l'hypothèse d'un seuil (absolu ou relatif) restera très difficile à arbitrer en raison de la faible dimension du risque. En effet, pour une dose d'un centième de Gy (soit 1 rad), on aurait, au maximum, une augmentation du taux de cancers de un pour mille, alors que l'incidence spontanée est de 25-30 % et, de plus, variable en fonction de différents facteurs comme nous l'avons vu plus haut. Il faut tenir compte, par ailleurs, que l'irradiation naturelle est en moyenne de 3,3 mSv par an pour la population de la Communauté Européenne et est également variable d'un pays à l'autre.

Pour illustrer la difficulté de l'évaluation des risques aux faibles doses, nous avons choisi deux exemples pour lesquels l'extrapolation linéaire sans seuil ne peut être éliminée. La Figure 8 se rapporte à l'induction du cancer thyroïdien chez l'enfant. La Figure 9 concerne l'induction du cancer du sein chez 4 groupes\* de femmes irradiées selon différentes modalités.

S'il est raisonnable de choisir, chaque fois que le problème se pose, les hypothèses pessimistes pour établir des réglementations, il serait déraisonnable de s'en tenir aux hypothèses pessimistes extrêmes pour évaluer - à posteriori - le dommage d'une irradiation et surtout de décider de mettre en oeuvre - ou non - des contre-mesures qui ne sont jamais dépourvues d'inconvénients (ou même de danger).

#### 4. Neutrons, particules alpha et autres rayonnements à TLE élevé<sup>1</sup>

Comme nous l'avons vu plus haut, certains types de rayonnements (p. ex. les neutrons ou particules alpha) sont - à dose absorbée égale - plus nocifs que les rayons-X ou gamma.

Pour tenir compte de ces différences, l'International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) a introduit le concept d'**Equivalent de Dose** qui s'obtient en pondérant la dose absorbée par un "facteur biologique" appelé "facteur de Qualité". Si H est l'équivalent de dose et D la dose absorbée, on a :

$$H = D \times Q$$

L'équivalent de dose s'exprime en joule par kilogramme (comme la dose absorbée). Le facteur de qualité Q dépend de la nature et de l'énergie du rayonnement; il n'est défini que dans le domaine des faibles doses (de l'ordre de quelques centièmes de Gy). Le facteur de qualité Q est admis :

- égal à 1 pour les rayonnements à TLE faible comme les rayons-X ou gamma,
- égal à 10 pour les neutrons,
- égal à 20 pour les particules alpha.

En ce qui concerne les coefficients de risque pour les rayonnements à TLE élevé comme les neutrons ou les particules alpha, et pour prendre en compte les données ci-dessus, les coefficients de risque indiqués dans le Tableau IV doivent être multipliés par le facteur de qualité Q correspondant.

Par ailleurs, pour ces rayonnements, il ne faut pas appliquer de facteur de réduction de risque pour les faibles doses et les faibles débits.

#### 5. Effets aléatoires et non-aléatoires

##### Effets non-aléatoires

Les effets somatiques précoces que nous avons rappelés (Section A) sont dits "**effets non-aléatoires**" (ou parfois non-stochastiques ou non-statistiques). Les radiodermites chroniques (Section B.1) et d'autres effets tardifs comme la cataracte sont également des effets non-aléatoires.

Les effets non-aléatoires présentent les caractéristiques suivantes (Tableau VI) :

##### L'existence d'un seuil

Aucun effet somatique précoce n'apparaît pour des doses inférieures à 0,5 Gy. En d'autres termes, une irradiation à une dose

---

<sup>1</sup> TLE = transfert linéique d'énergie

inférieure à 0,5 Gy ne provoque aucune symptomatologie subjective, et ne peut être détectée ni par l'examen clinique, ni par les dosages biologiques (sauf la numération des aberrations chromosomiques).

Du point de vue de la radioprotection, ceci implique que l'on se met à l'abri des effets non aléatoires en restant en dessous du seuil. De telles informations (confirmation de l'existence d'un seuil et évaluation de son ordre de grandeur) sont réclamées pour guider la conduite des autorités sanitaires, car les mesures à prendre doivent viser à maintenir les doses en dessous du seuil. De même, la confirmation de l'existence d'une dose-seuil tend à rassurer la population.

#### La gravité de l'effet biologique augmente avec la dose

Ainsi par exemple, alors que la DL50 est de 3,5 à 4 Gy par destruction médullaire (syndrome hématologique), une dépression médullaire modérée est déjà observée à 1 Gy et est d'autant plus marquée pour que la dose est plus élevée (Fig. 4).

#### L'effet apparaît chez toutes les personnes irradiées

Cependant de petites différences d'intensité peuvent être observées en raison des différences de radiosensibilité individuelle.

### **Effets aléatoires**

L'augmentation de la fréquence des cancers, comme le risque génétique, sont des effets aléatoires. On admet (ordre de grandeur) que le risque génétique est égal à 1/3 du risque de cancérogénèse, c'est-à-dire que, pour 3 morts par cancer radioinduit, il y aurait un effet génétique grave.

Les effets aléatoires se distinguent des effets non- aléatoires par les caractéristiques suivantes (Tableau VI):

- ils sont à prendre en considération pour une gamme de dose beaucoup plus faible;
- leur probabilité augmente avec la dose;
- mais pas leur gravité. La gravité d'un cancer radioinduit n'est pas différente de celle d'un cancer "spontané" et n'est pas nécessairement plus grande quand la dose est plus élevée;
- l'effet (cancer, mutation) apparaît chez certains sujets irradiés mais pas chez d'autres (alors que le même effet peut apparaître spontanément chez des sujets non irradiés);
- la relation fréquence/dose est mal connue aux faibles doses et on ne peut exclure de manière absolue aucune hypothèse et, en particulier, la relation linéaire sans seuil (selon laquelle le risque aux faibles doses ne serait jamais nul).

## CONCLUSIONS

Nous avons passé en revue, brièvement, les deux grands types de pathologie provoqués par les rayonnements ionisants : les effets précoces et les effets tardifs.

Les **effets précoces**, conséquence d'expositions à dose élevée, apparaissent dans les jours ou semaines suivant l'irradiation. Nous avons décrit le syndrome nerveux, gastro-intestinal et médullaire, ainsi que les brûlures cutanées. Cette pathologie est aujourd'hui bien connue.

Les **effets tardifs** peuvent être, soit la conséquence à long terme d'expositions à de fortes doses, soit la conséquence de l'accumulation progressive de petites doses de rayonnement. Nous avons centré la discussion sur l'induction de cancers et les coefficients de risque correspondants.

L'évaluation des **coefficients de risque pour l'induction de cancers** aux faibles doses reste imprécise. Comme il s'agit de taux de cancers qui restent faibles par rapport à l'incidence spontanée, il sera toujours difficile, par des études épidémiologiques (même "ciblées"), de répondre à la question. La solution sera vraisemblablement apportée par de nouvelles recherches sur le mécanisme d'induction des cancers (recherche fondamentale) qui pourraient fournir des informations sur la forme de la relation entre le taux de cancers et la dose de rayonnements ionisants, et de cette manière éclairer le débat.

Parmi les principales leçons que l'on peut tirer de l'accident de Tchernobyl, sur le plan médical, citons :

- l'importance des brûlures de la peau chez des sujets dont les défenses sont, par ailleurs, diminuées par l'irradiation;
- la nécessité de disposer d'un dosimètre biologique fiable permettant à partir d'une bonne évaluation de la dose de prédire l'évolution des lésions et ainsi de préparer la mise en œuvre de moyens thérapeutiques appropriés. Le taux de lymphocytes, dans les heures qui suivent l'irradiation, semblent actuellement être le meilleur indicateur;
- enfin, sur le plan thérapeutique, l'efficacité de la greffe de moelle osseuse pour des doses voisines de la DL50 a été controversée.



**REFERENCES**

1. P. SMEESTERS et A. WAMBERSIE  
Mesures d'urgence en cas d'expositions accidentelles aux rayonnements ionisants.  
Arch. B. Méd. Soc., Hyg., Méd. Tr. & Méd. lég., 1987, 45 336-364
  
2. M. TUBIANA, J. DUTREIX et A. WAMBERSIE.  
Radiobiologie  
Hermann (Ed), Paris, 304 pages, 154 figures, 1986.
  
3. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR),  
Sources, effects and risks of ionizing radiation.  
1988 Report to the General Assembly with annexes, United Nations, New-York, ISBN 92-1142143-8, 1988.
  
- A. WAMBERSIE et P. SCALLIET  
A propos de Tchernobyl : II. Un an après : Leçons et conséquences sanitaires et économiques. Bilan pour la population belge.  
Louvain Médical, 107, 111-130, 1988.

**TABLEAU I**

FACTEURS DETERMINANT LES EFFETS BIOLOGIQUES PRODUITS PAR LES RAYONNEMENTS IONISANTS
<p>Les effets biologiques produits dépendent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- de la dose absorbée (énergie déposée);</li> <li>- des organes ou tissus irradiés (influence du volume tissulaire);</li> <li>- de la nature du rayonnement;</li> <li>- du facteur temps : exposition unique, répétée, à débit lent...;</li> </ul>

**TABLEAU II**

CLASSIFICATION DES EFFETS BIOLOGIQUES PRODUITS PAR LES RAYONNEMENTS IONISANTS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- selon le moment d'apparition : <ul style="list-style-type: none"> <li>- effets précoces</li> <li>- effets tardifs</li> </ul> </li> <li>- selon que le dommage est subi par la personne irradiée ou par sa descendance : <ul style="list-style-type: none"> <li>- effets somatiques</li> <li>- effets génétiques</li> </ul> </li> <li>- selon leur caractère <ul style="list-style-type: none"> <li>- aléatoire</li> <li>- non-aléatoire</li> </ul> </li> </ul>

TABLEAU III

DOSES LÉTALES POUR DIFFÉRENTES ESPECES DE MAMMIFERES.	
Espèce	Dose létale à 50% à 30 jours (en Gy)
Mouton	1,55
Porc	1,95
Ouistiti	2,00
Chèvre	2,30
Cobaye	2,55
Chien	2,65
Singe	3,98
Lapin	8,40
Souris	9,00
Rat	9,00
Hamster	9,00
Gerbille	10,59
Souris du désert	15,20

Le Tableau indique les doses létales dans 50 % des cas, à 30 jours après une irradiation par rayons-X ou gamma. Chez l'homme, la dose létale 50 %, à 60 jours, est 3,5-4 Gy.

**TABLEAU IV**

Risque de mort par cancer pour une dose absorbée de 1 Gy* (en pourcent)		
En admettant le modèle du :		
	Risque relatif	Risque absolu
Moelle osseuse	0,97	0,93
Tous les cancers sauf leucémies	6,1	3,6
Vessie	0,39	0,23
Sein	0,6	0,43
Colon	0,79	0,29
Poumon	1,5	0,59
Myélome multiple	0,22	0,09
Ovaire	0,31	0,26
Oesophage	0,34	0,16
Estomac	1,3	0,86
Autres organes	1,1	1,0
Total	7,1	4,5

\* rayonnements à TLE faible, débit élevé,  
D'après UNSCEAR, 1988.

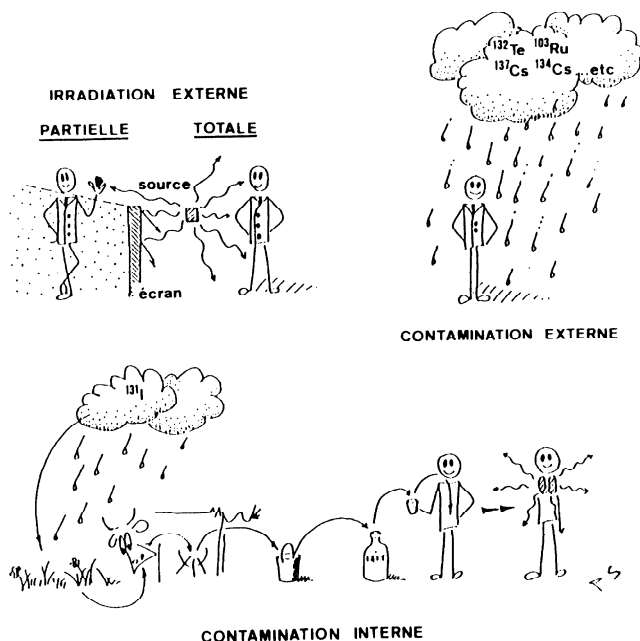
**TABLEAU V**

Risques estimés pour une population de 1.000 personnes (500 hommes et 500 femmes) exposées à une dose de 1 Gy (TLE faible, débit élevé)			
	Modèle adopté pour les estimations	Nombre de cancer mortels en excès	Années de vie perdues
Population totale	risque absolu risque relatif	40-50 70-110	950-1200 950-1400
Population active (25-64 ans)	risque absolu risque relatif	40 80	880 970
Population adulte (plus de 25 ans)	risque absolu risque relatif	50 60	840 640

D'après UNSCEAR, 1988.

TABLEAU VI

EFFETS ALEATOIRES ET NON-ALEATOIRES
<p>Les <u>effets aléatoires</u> présentent les caractéristiques suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- leur <u>probabilité</u> augmente avec la dose;</li> <li>- mais par leur <u>gravité</u>;</li> <li>- l'effet apparaît chez <u>certains</u> sujets irradiés, mais pas chez tous;</li> <li>- relation dose-effet mal connue aux <u>faibles doses</u>.</li> </ul> <p><u>Exemples</u> : cancérogénèse, risque génétique.</p>
<p>Les <u>effets non-aléatoires</u> sont caractérisés par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'existence d'un <u>seuil</u>;</li> <li>- la <u>gravité</u> de l'effet biologique augmente avec la dose;</li> <li>- les lésions sont présentes chez <u>tous</u> les sujets (éventuellement petite variation individuelle de radiosensibilité).</li> </ul> <p><u>Exemples</u> : syndrome médullaire, intestinal, radiodermite précoce et tardive, cataracte, etc..</p>

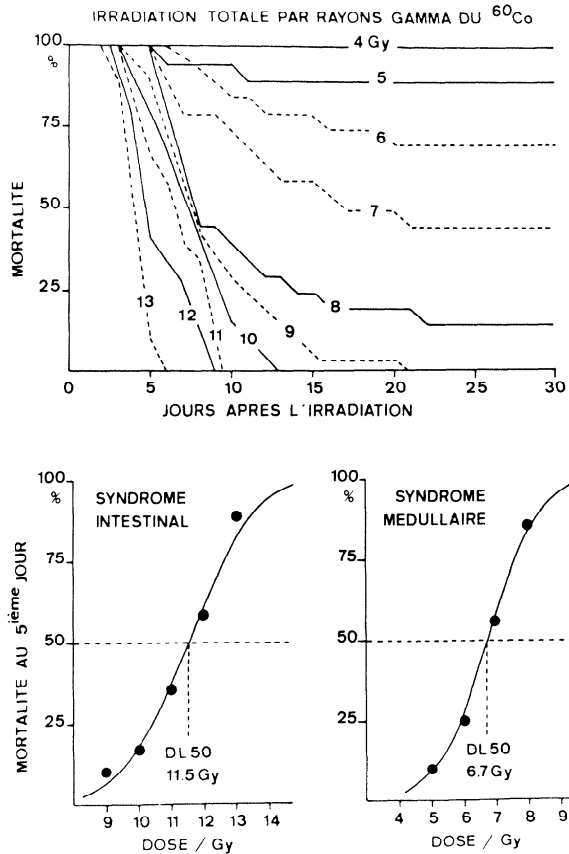


**Figure 1**

Les différents types d'irradiation

On parle d'irradiation externe quand la source de rayonnement est extérieure à l'organisme. L'irradiation externe peut être totale ou partielle. Dans ce dernier cas, une partie du corps est protégé par un écran.

Un nuage radioactif, conséquence éventuelle d'un accident nucléaire, peut contenir différents types de radionucléides. Ceux-ci peuvent provoquer, tout d'abord, une contamination externe. Certains d'entre eux peuvent pénétrer dans l'organisme : il s'agit alors d'une contamination interne. Un exemple bien connu est celui de l'iode radioactif (iode-131), qui se dépose sur les végétaux et suivant différentes étapes (vaches, lait, ...) finit par se concentrer au niveau de la thyroïde chez l'homme. Il s'agit, dans ce cas, d'une irradiation sélective de la glande thyroïde par contamination interne.

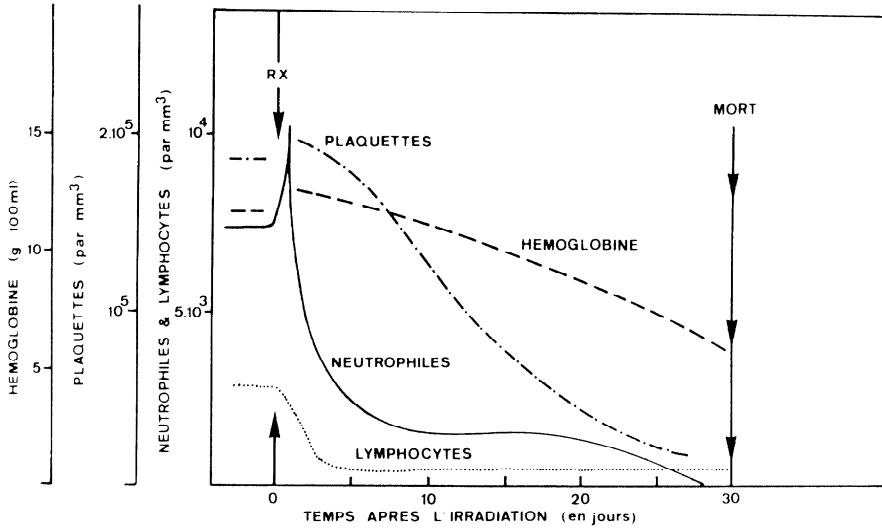


**Figure 2**

En haut : mortalité observée pour différents groupes de souris irradiées à dose croissante (de 4 à 13 Gy de rayons gamma). Un certain nombre d'animaux meurent dès que la dose dépasse 4 Gy, il n'y a plus de survivants pour des doses supérieures à 9 Gy.

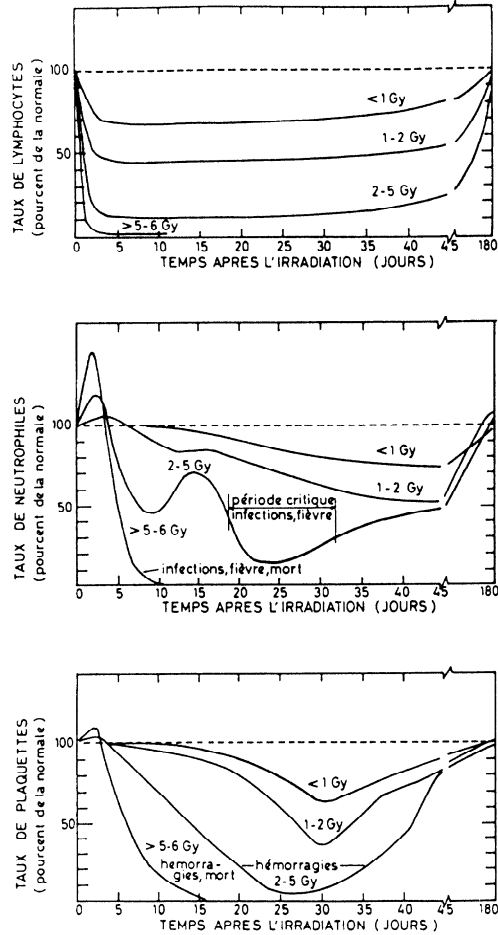
En bas : à partir des courbes précédentes, on peut déduire la relation entre la mortalité et la dose. A gauche, on a considéré la mortalité au 5<sup>ème</sup> jour (syndrome intestinal), à droite, on a considéré la mortalité au 30<sup>ème</sup> jour (syndrome médullaire). Dans les 2 cas, la relation entre la mortalité et la dose a une allure sigmoïde (en forme de S), et on observe l'existence d'un seuil. Par ailleurs, la dose qui tue 50 % des animaux est inférieure pour le syndrome médullaire (DL50 = 6,7 Gy) comparé au syndrome intestinal (DL50 = 11.5 Gy).





**Figure 3**

Réponse hématologique à une irradiation corporelle totale à dose létale chez l'homme. On observe une dépression rapide du taux de lymphocytes. Le taux de neutrophiles, après un pic transitoire, descend progressivement et tend vers zéro aux environs du 30ème jour. A ce moment, les plaquettes sanguines ont également pratiquement disparu. En l'absence d'une intervention médicale, la mort survient vers le 30ème jour par infection et hémorragie.



**Figure 4**

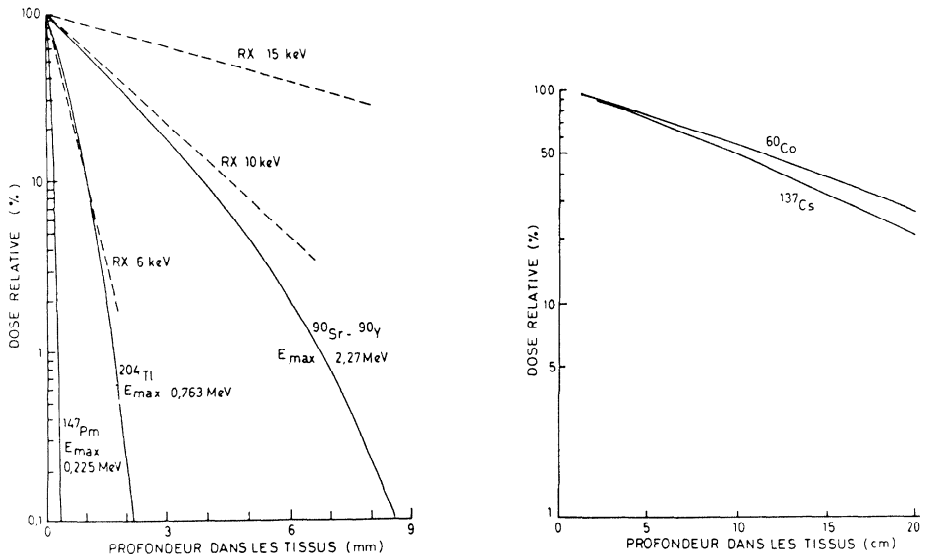
Evolution dans le temps (jours après une irradiation totale) du taux de lymphocytes, neutrophiles et plaquettes sanguines. Les différentes courbes correspondent à différents niveaux de dose. On note la diminution rapide des lymphocytes dans les heures qui suivent l'irradiation. La chute du taux de lymphocytes peut être utilisée comme "dosimètre biologique" (voir texte).



**Figure 5**

Coupe schématique de la peau. L'épiderme est indiqué avec la couche cornée (Co), la couche de Malpighi (Ma) et la couche de cellules basales (Ba). Son épaisseur est comprise entre 75 et 150  $\mu\text{m}$  (sauf à la paume des mains et à la plante des pieds, où elle peut atteindre 400 à 600  $\mu\text{m}$ ). L'épaisseur de la peau (épiderme et derme) ne dépasse pas en général 2 mm, jusqu'aux lobules graisseux les plus superficiels de l'hypoderme.

Les cellules basales (Ba) qui sont les cellules souches, radiosensibles, dont la prolifération assure le renouvellement de l'épiderme, se trouvent donc à une profondeur de 0,075 à 0,15 mm (Prof. Lachapelle, UCL).



**Figure 6**

A gauche :

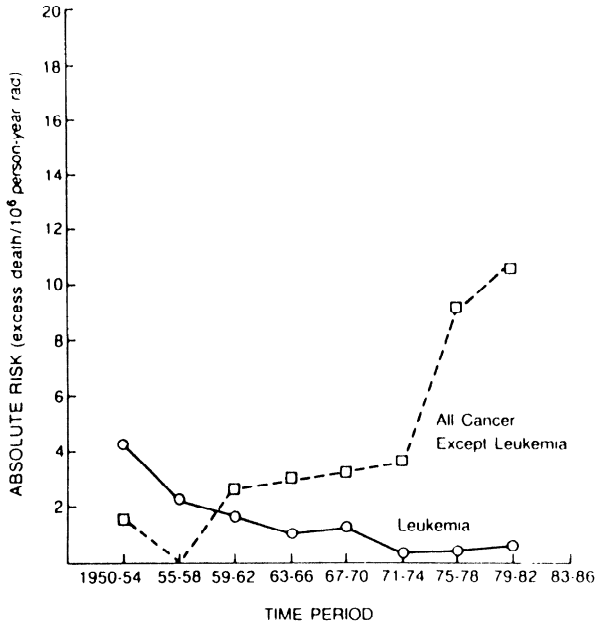
Pénétration des rayonnements bêta dans les tissus. La dose relative, en profondeur, est donnée pour 3 radionucléides :

- le mélange strontium-90/yttrium-90, énergie maximale 2,27 MeV;
- le thalium-204, énergie maximale 0,763 MeV;
- le promethium-147, énergie maximale 0,225 MeV.

La décroissance de la dose en profondeur est rapide; elle est d'autant plus rapide que l'énergie est faible. Les particules bêta ne pénètrent pas au-delà de quelques millimètres en profondeur dans les tissus. Les courbes de pénétration pour des rayons X de 6, 10 et 15 keV sont indiquées pour comparaison.

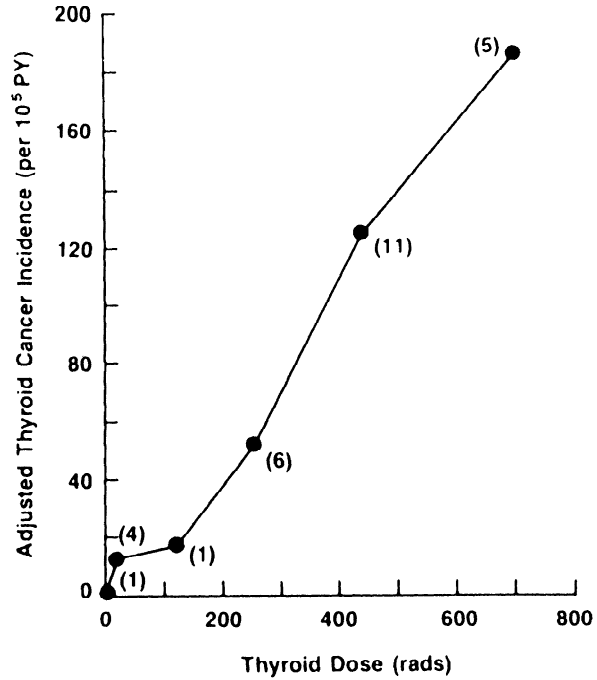
A droite :

Le pouvoir de pénétration beaucoup plus important des rayons gamma du cobalt-60 et du césium-137 contraste avec ceux des rayons bêta et des rayons X de faible énergie. Les courbes de la figure correspondent à des faisceaux de 20 x 20 cm de section et une DSP = 50 cm. La dose dans les tissus est réduite de moitié à environ 11 cm en profondeur pour le cobalt-60 (1,25 MeV) et à environ 10 cm en profondeur pour le césium-137 (0,66 MeV)



**Figure 7**

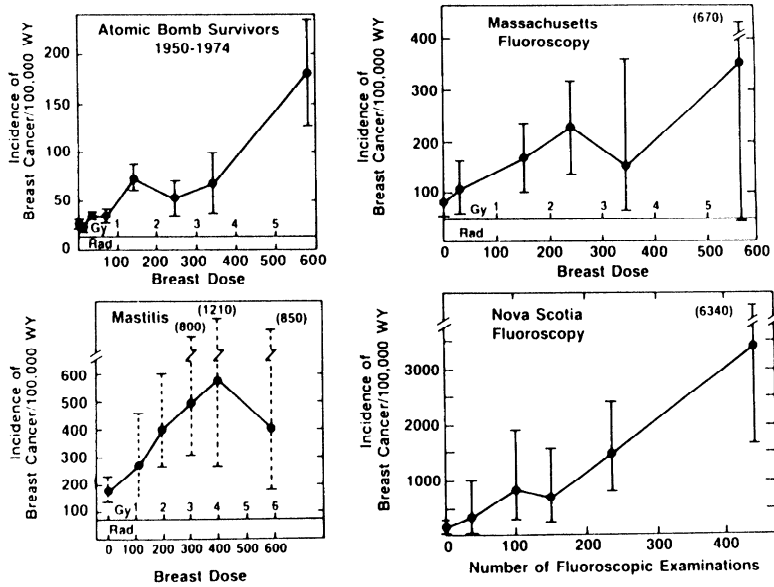
Variation, en fonction du temps après l'explosion, du risque absolu de leucémies et d'autres cancers radioinduits chez les irradiés d'Hiroshima et de Nagasaki.



**Figure 8**

Incidence de cancers thyroïdiens (par personne-année) en fonction de la dose absorbée à la thyroïde.

D'après Shore et al., 1985 (cité par [3]).



**Figure 9**

Incidence de cancers du sein en fonction de la dose pour 4 groupes de femmes exposées aux rayonnements ionisants. L'incidence spontanée du cancer du sein est faible au Japon; elle est élevée aux Etats-Unis et au Canada.

D'après Boice et al., 1979 (cité par [3]).

### Summary

Among the biological effects produced by ionizing radiation, the early and late effects are reviewed. The early effects appear within days or weeks after an irradiation at high dose. The neurological, digestive and bone marrow syndrome are described, as well as skin burns. The late effects can be either the long term consequences of an exposure at high dose, or the consequences or repeated accumulation of discrete radiation doses. Among the late effects, cancer induction and genetic risk, are the most important to consider. The risk coefficient for cancer induction is expressed by the number of lethal cancers induced per unit dose. In his last report (1988), the UNSCEAR assessed the risk coefficient between 4.5 and 7 % for an absorbed dose of 1 Gy (low-LET radiation, high dose delivered at high dose rate). At low doses and low dose rates (X- and gamma rays), the UNSCEAR recommends to reduce the above risk coefficient by a factor between 2 and 10. The risk coefficient at low doses is difficult to evaluate since the rate of radio-induced cancers is small compared to the spontaneous cancer incidence. Finally, the characteristics of the stochastic and non-stochastic effects are described. The acute effects, the late radio-dermitis and the cataract are non-stochastic effects, while cancer induction and the genetic risk are stochastic effects.

### Samenvatting

Een overzicht wordt voorgesteld van de biologische effecten van ioniserende stralen, zowel van de vroege als van de uitgestelde effecten. Vroege effecten tonen zich binnen enkele dagen of weken na blootstelling aan een hoge dosis. Het neurologisch, gastro-intestinaal en beenmerg syndroom zowel als de radiodermitis worden beschreven. Uitgestelde effecten kunnen, naargelang, de gevolgen zijn op lange termijn van een blootstelling op hoge dosis of het gevolg zijn van herhaalde blootstellingen aan lagere dosissen. Onder de uitgestelde effecten zijn kankerinductie en genetische effecten de meest belangrijke. Het risico coefficient voor kankerinductie wordt uitgedrukt in aantal letale kankers geïnduceerd door de eenheidsdosis. In haar laatste verslag (1988) heeft UNSCEAR het risicocoefficient tussen 4.5 en 7 % geschat voor een geabsorbeerde dosis van 1 Gy (lage LET straling op hoge dosis en hoog dosisdebiet). Op lage dosissen en lage dosisdebieten (X en  $\gamma$  stralen) wordt door UNSCEAR een reductie van hoger vermeld risicocoefficient met een factor gelegen tussen 2 en 10 aanbevolen. Het risicocoefficient op lage dosissen is moeilijk te schatten daar het aantal van de stralen geïnduceerde kankers klein is in vergelijking met de spontane kanker incidentie. Tenslotte worden de kenmerken van stochastische en niet-stochastische effecten beschreven. De acute effecten, de uitgestelde radiodermitis en de lensopaciteit zijn niet-stochastische effecten. Kankerinductie en genetisch risico zijn stochastische effecten.



## DEKONTAMINATIE VAN RADIOAKTIEF BESMETTE PERSONEN

Dr. Holmstock L.  
S.C.K./C.E.N.  
Medische Dienst  
Boeretang, 200  
B-2400 MOL

SAMENVATTING

Na een bondige herhaling van enkele basisbegrippen wordt in dit artikel vooreerst een bespreking gegeven van de meest frekwente vorm van kontaminatie in de nucleaire sektor, met name de radioactieve besmetting van de intacte huid. Vervolgens wordt de dekontaminatieproblematiek in geval van een gekwetste huid en na inhalatie en ingestie van radionucliden behandeld. Tot slot worden nog enkele praktische richtlijnen gegeven in verband met het opvangen van besmettingslachtoffers.

I. KONTAMINATIE

Radioactieve besmettingen kan men schematisch indelen in uitwendige-, inwendige- en zogenaamd gemengde kontaminaties. Men spreekt van uitwendige kontaminatie wanneer de radioactieve stof zich enkel uitwendig (i.e. op een intacte huid) bevindt. Opname in het organisme kan geschieden via wonden, inhalatie en ingestie, maar voor sommige radionucliden ook t.g.v. diffusie door een intacte huid (bv. radon, tritiumdampen).

Radioactieve besmettingen kunnen betrekking hebben op welbepaalde isotopen bv. in onderzoekslaboratoria of in de nucleaire geneeskunde waar men welbepaalde radionucliden manipuleert. Kontaminaties met splijtstoffen zoals Uranium en Plutonium kunnen voorkomen bij ongevallen in instellingen waar men brandstofstaven of nucleaire wapens maakt. Het ongeval in Tsjernobyl maakte ons duidelijk dat bij ernstige ongevallen in een kerncentrale een ganse reeks van fissieproducten over zeer grote afstanden kunnen verspreid worden via atmosferische dispersie : Caesium-134, Caesium-137, Jodium-131, Jodium-132, Strontium-90, Cerium-144, Ruthenium-103, Ruthenium-106, enz... De 4 eerstgenoemde kernsplijttingsproducten zouden volgens Russische experts verantwoordelijk geweest zijn voor  $\pm$  90 % van de dosisbelasting t.g.v. *inwendige* kontaminatie bij de gehospitaliseerde slachtoffers <sup>(1)</sup>.

Het kontaminerend agens kan zich in allerlei fysische toestanden bevinden : in een water- of vetoplosbare suspensie, in vaste toestand onder de vorm van grotere partikels of een uiterst fijn aerosol (al dan niet oplosbaar bij fysiologische pH), of gasvormig zoals bv. getritieerde waterdamp, Jodium bij het overschrijden van een bepaalde temperatuur, Argon, enz...

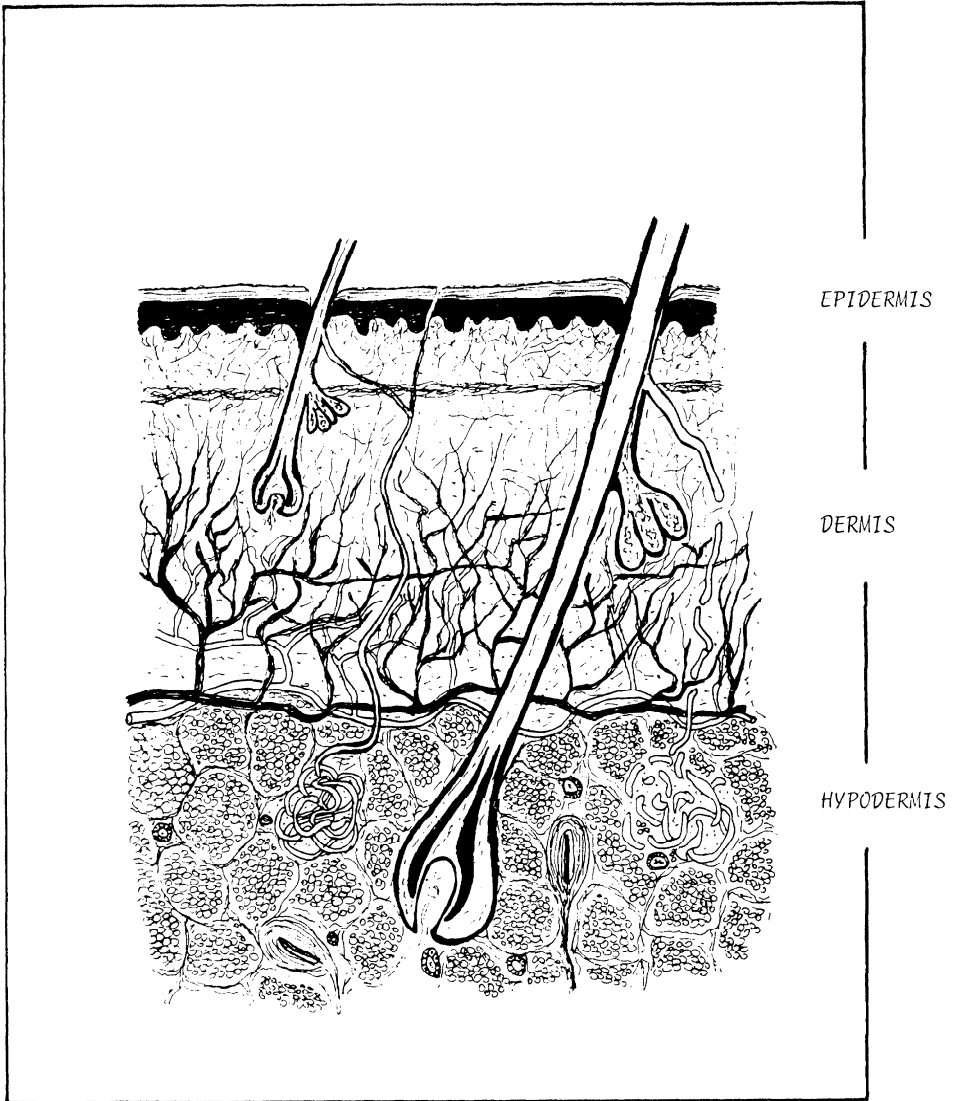
## II. DEKONTAMINATIE VAN DE INTAKTE HUID

Niettegenstaande dekontaminatie van een intakte huid in de praktijk meestal weinig problemen zal stellen, is het toch van belang om rekening te houden met enkele anatomische en fysiologische kenmerken van de huid, teneinde geen procedure-fouten te maken.

### A. Anatomie van de huid

De menselijke huid is gemiddeld  $\pm$  2 mm dik en opgebouwd uit 3 lagen (zie Figuur 1) :

1. De opperhuid of epidermis die de buitenmantel vormt en zelf is opgebouwd uit 4 lagen (zie verder). Het epiderm bevat geen bloed- en lymfevaten en de cellen die er deel van uitmaken worden uitsluitend gevoed door diffusie van voedingsstoffen uitgaande van de bloedvaatjes in de lederhuid.
2. De lederhuid of dermis is veel dikker dan de opperhuid. Belangrijk is het feit dat de lederhuid enerzijds veel grofmazig geweve collageenvezels bevat en uitgesproken hypocellulair is t.o.v. de opperhuid, en anderzijds rijk is aan haarvaatjes. Dit brengt met zich mee dat radionucliden eens ze zich in dit gebied bevinden gemakkelijker kunnen diffunderen en opgenomen worden in de bloedbaan.
3. De onderhuid of hypoderm is uit fibreus bindweefsel opgebouwd met grote ruimten ertussen die met vetcellen opgevuld zijn. Dit onderhuids vetweefsel dat fungeert als thermoregulator kan echter eventueel ook lipofiele substanties accumuleren.

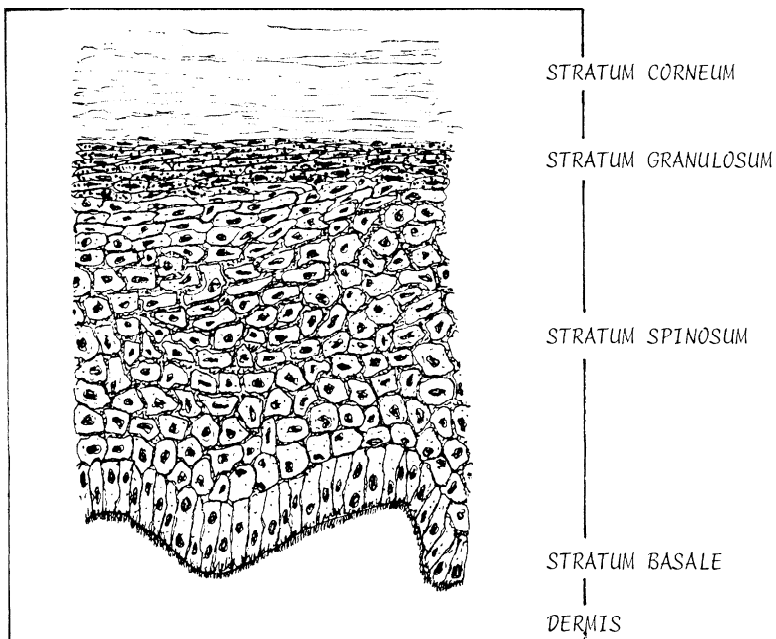


FIGUUR 1

Laten we nu even dieper ingaan op de structuur van de opperhuid (epidermis), want een meer diepgaande kennis hiervan is onontbeerlijk uit het oogpunt van de radioprotectie. Een intact epiderm vormt immers onder normale omstandigheden een tamelijk efficiënte barrière tegen het binnendringen van de meeste radionucliden, en dit zeker indien ze zich in vaste toestand bevinden.

Het epiderm is een verhoornd meerlagig plaveiselcelig epitheel dat zich continu hernieuwt en bestaat uit een dertigtal cellagen. De beschuttende rol van de opperhuid wordt verwezenlijkt door de appositie van deze cellenlagen en vooral dankzij het doordrenken van bepaalde dezer cellenlagen met stoffen zoals keratine die de doorgang van water of andere bestanddelen min of meer verhinderen. De continue cellenlagen van het epiderm worden enkel onderbroken door de lozingsgangen van de zweetklieren en door de haarporiën; deze vormen echter geen noemenswaardige ingangsoeningen voor contaminanten (de oppervlakte van deze poriën bedraagt minder dan 1 % van de totale huidoppervlakte).

Men onderscheidt in het epiderm van onder naar boven de volgende op elkaar aansluitende lagen (zie Figuur 2) :



FIGUUR 2

a) het stratum basale of germinatieve laag bestaat uit één laag hoge cilindrische kiemcellen waarin mitose-figuren worden waargenomen. Deze kiemcellen zitten vast in de bindweefselige basale membraan, die de grens vormt met de lederhuid. Dagelijks wordt er  $\pm$  1 laag cellen die progressief naar boven toe opschuiven aangemaakt ter hoogte van de kiemcellenlaag. De gemiddelde diepte van deze mitotisch actieve basale cellenlaag volgens KONISHI et al.<sup>(2)</sup> is voor verschillende plaatsen weergegeven in Tabel 1. Terloops weze opgemerkt dat ICRP-26 een gemiddelde diepte van 70  $\mu\text{m}$  voor het globale lichaam voorstelt.

In tegenstelling tot  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling zal weinig doordringende  $\alpha$ -straling van op een intact huidoppervlak aanwezige kontaminanten dus bijna nooit het radiosensiebele stratum basale bereiken (de reikwijdte van  $\alpha$ -stralen in zacht weefsel bedraagt slechts enkele tientallen micron). Anderzijds dient men zich wel te realiseren dat te agressieve dekontaminatieprocedures op vele plaatsen van het lichaam de opperhuid gemakkelijk voor een groot deel kunnen elimineren, met een toegenomen kans op resorptie van de kontaminanten t.h.v. de lederhuid tot gevolg !

DIEPTE BASALE CELLENLAAG		
- Hoofd en romp	:	40 $\mu\text{m}$
- Armen en benen	:	50 $\mu\text{m}$
- Dorsale zijde handen en voeten	:	150 $\mu\text{m}$
- Volaire zijde handen en voeten	:	300 $\mu\text{m}$

TABEL 1

b) het stratum spinosum bevat verschillende lagen veelhoekige cellen.  
 c) het stratum granulosum bestaat uit 2 tot 5 lagen afgevlakte ruitvormige cellen die een groot aantal keratohyalijne korrels bevatten.

d) het stratum corneum is samengesteld uit verschillende lagen verhoorde en schubvormige dode cellen waarvan de meest perifere laag voortdurend afschilfert. Het cytoplasma bevat talrijke dunne keratine-filamenten. De hoornhuid hernieuwt zich ongeveer alle 14 dagen en is gemiddeld 10 micron dik, maar t.h.v. eeltige plaatsen (handpalmen, voetzolen) kan deze dikte gemakkelijk toenemen tot meer dan 300 micron.

## B. Fysiologie van de huid

Vermits bij externe kontaminaties primair de hoornhuid (stratum corneum) betrokken is, kunnen we de beschrijving van de fysiologische karakteristieken van de huid hier beperken tot deze van het stratum corneum.

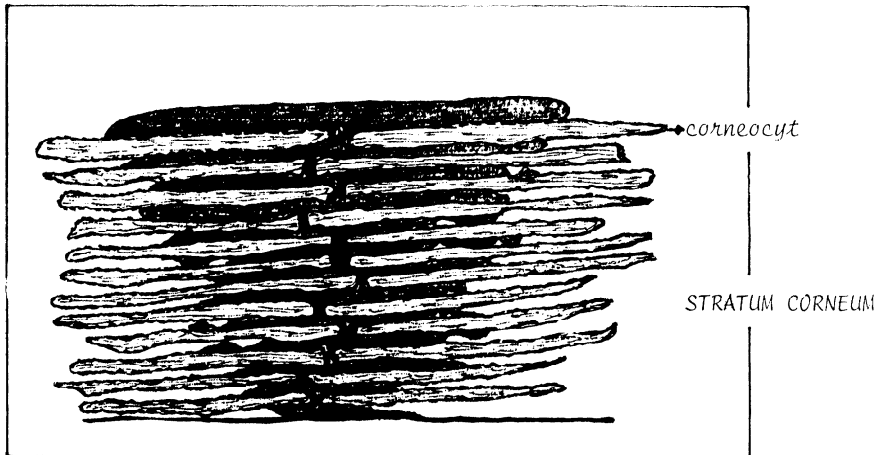
De hoornhuid bestaat voor  $\pm 50$  à  $70$  % uit wateronoplosbare structuureiwitten (keratine) en de rest wordt bepaald door wateroplosbare aminozuren, hydraatwater, organische zuren (lactaat, citraat) en electrolyten ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$  ...). Doordat de hoornhuid zowel hydrofiele als lipofiele componenten bevat zullen stoffen met een bepaalde lipofiel-hydrofiele balans het gemakkelijkst doordringen.

Moleculen met een meer lipofiel karakter kunnen in het algemeen toch iets gemakkelijker penetreren (de lipofiele component van de hoornhuid wordt in grote mate bepaald door de corneocytenmembranen, terwijl de hydrofiele substanties meer aanwezig zijn in het cytoplasma). De corneocyten zijn bovendien ingebed in een zgn. "kitsubstantie" gevormd door talg, lipiden en wateroplosbare stofwisselingsprodukten. Deze kitsubstantie met zwak-zure pH ( $\text{pH} = \pm 6,3$ ) vormt een relatieve beschuttingsmantel tegen het binnendringen van o.a. bacteriën.

Lokaal gebruik van organische solventen gaat gepaard met het oplossen van de vetfracties in de hoornhuid en dit resulteert dan nadien in een verminderde huidresorptie van vetoplosbare verbindingen en een vermeerderde kans op penetratie van wateroplosbare contaminanten. Anderzijds bevordert een toename in de hydratatiegraad samen met een verhoogde temperatuur van de

(hoorn)huid de opname van wateroplosbare radionucliden (\*).

Door haar opbouw vormt de hoornhuid toch een zekere barrière tegen het binnendringen van vet- en wateroplosbare contaminanten en dit geldt a fortiori voor een contaminant onder vaste vorm, tenminste indien de hoornhuid intact is of niet beschadigd wordt door ondoordachte dekontaminatieprocedures. In Figuur 3 wordt schematisch geïllustreerd hoe de concentratie van een oplosbaar contaminant exponentieel afneemt met toenemende diepte : het dringt voornamelijk horizontaal door tussen de verschillende lagen corneocyten van de hoornhuid en slechts een kleiner gedeelte dringt vertikaal door tussen de contactzijden tussen de verschillende hoorncellen (3).



FIGUUR 3

\* in dit verband dient de vroeger gepropageerde werkwijze om hardnekkige restkontaminaties t.h.v. de handen te "verwijderen" d.m.v. het doen zweten van de handen (bv. door het urenlang dragen van chirurgische handschoenen) afgeraden te worden omdat de contaminatie wel kan verdwijnen maar dan o.a. door inwendige resorptie !

De adsorptie van radionuclide-kationen aan corneocyten wordt afgeremd in het zure pH-gebied en wordt verhoogd in het alkalisch pH-gebied. De hoornhuid wordt bovendien beschadigd door denaturering bij alkalische pH en verliest alzo haar barrière-functie. Anderzijds moet men rekening houden met deshydratatie van de hoornhuid in een te sterk zuur milieu. Uit ervaring met personen-dekontaminaties en rekening houdend met de natuurlijk aanwezige pH van  $\pm 6,3$  in de kitsubstantie van de hoornhuid wordt voor dekontaminatieprodukten een pH van  $\pm 6$  à  $6,5$  als optimaal beschouwd. Bij deze pH is de hydratatietoestand van de (hoorn)huid bovendien niet gestoord.

#### C. PRINCIPES VAN DEKONTAMINATIE VOOR DE INTAKTE HUID

Bij het uitvoeren van een dekontaminatie zal men dus moeten rekening houden met de anatomische en fysiologische eigenschappen van de huid : d.w.z. dat er geen fysische of chemische beschadiging mag optreden. In de praktijk betekent dit dat men slechts progressief meer agressieve middelen zal aanwenden. Dekontaminatie van een intakte huid gebeurt steeds in eerste instantie door het gebruik van lauw water en een zachte zeep met bijna neutrale pH. Zachte borstels, sponsjes of tampons kunnen altijd aangewend worden ; de in de handel verkrijgbare abrasieve sponzen mogen enkel gebruikt worden waar de dikte van de hoornhuid dit toelaat i.e. ter hoogte van handpalmen en voetzolen. Indien deze procedure onvoldoende resultaten oplevert zal men overschakelen naar meer krachtige produkten. In de handel vindt men uitstekende dekontaminatieprodukten voor de huid met pH tussen 6 en  $6,5$  en meestal samengesteld als volgt : detergenten + complexantia (bv. E.D.T.A.) + één of meerdere zuren (bv. citraat).

Indien de kontaminatie zich verspreid heeft tot de diepere lagen van de hoornhuid zullen de bovenvermelde procedures niet volstaan. Bij weerbarstige kontaminaties zal men best tamelijk snel overschakelen naar het gebruik van abrasiva, best onder de vorm van zogenaamde peeling crèmes (eventueel hypo-allergische types).



Dit zijn keratolytica meestal op basis van ureum of salicylzuur. Ze geven in de praktijk uitstekende resultaten en dit zonder huidbeschadiging bij deskundig gebruik. Het volgen van bovenvermelde werkwijze heeft als doel een reactieve hyperaemie en een mechanische beschadiging van de huid door te langdurig borstelen te vermijden bij gebruik van te weinig krachtige middelen.

Men tracht tijdens het dekontamineren van een sterk besmette zone steeds in de mate van het mogelijke te vermijden dat de kontaminant zich samen met de spoelvlloeistoffen verspreid over niet besmette gebieden. Hiertoe kan men zelfklevende plastic, vaseline of zgn. spray-verbanden appliceren over de niet besmette naburige huid. Uiteraard dient men er steeds op toe te zien dat besmette spoelvlloeistoffen het lichaam niet binnen kunnen dringen via de neusopeningen, de mond of via wonden !

Men zal steeds trachten de huid te dekontamineren volgens het A.L.A.R.A.-principe (As Low as Reasonably Achievable). In de meerderheid van de gevallen zal men de kontaminant(en) volledig kunnen verwijderen zonder huidbeschadiging. Bij een meer grootschalig ongeval zal er niet altijd voldoende tijd zijn om ieder slachtoffer tot backgroundniveau te dekontamineren. Welke zijn dan de richtwaarden die kunnen aangewend worden om de ernst van een (rest)kontaminatie te evalueren ? Op het S.C.K./C.E.N. gebruikt men de indeling vermeld in Tabel 2.

NORMEN S.C.K./C.E.N. VOOR BESMETTING INTAKTE HUID (=K)			
"Licht besmet" :		$K < 5 \text{ Bq/dm}^2$	( $\alpha$ )
		$K < 50 \text{ Bq/dm}^2$	( $\beta \gamma$ )
"Matige besmetting" :	$5 <$	$K < 50 \text{ Bq/dm}^2$	( $\alpha$ )
	$50 <$	$K < 500 \text{ Bq/dm}^2$	( $\beta \gamma$ )
"Ernstige besmetting":		$K > 50 \text{ Bq/dm}^2$	( $\alpha$ )
		$K > 500 \text{ Bq/dm}^2$	( $\beta \gamma$ )

TABEL 2

In het E.C.N. te Petten stelt men dat de huid (verder) dient gedekontamineerd te worden indien de besmetting voor  $\alpha$ -stralers 40 Bq/dm<sup>2</sup> en voor  $\beta$   $\gamma$ -stralers 400 Bq/dm<sup>2</sup> overschrijdt, hetgeen dus ongeveer overeenkomt met de bovengrens voor een "matig gekontamineerde" intakte huid op het S.C.K./C.E.N. Er dient echter beklemd te worden dat het hier gaat om referentieniveau's die gelden voor continue huidbesmettingen op de werkplaats. Bij accidentele huidbesmettingen mogen de vermelde waarden dus wel overschreden worden gezien het toch maar gaat over een tijdelijke toestand. De indeling in " $\alpha$ " en " $\beta$   $\gamma$ "-besmetting is zeer algemeen maar toch goed bruikbaar in ongevalssituaties waarbij men niet direct de samenstelling van de contaminanten kent (bv. gekatalogeerd als "fissieproducten"...). Tabel 3 vermeldt enkele door WRIXON<sup>(4)(5)</sup> berekende referentiewaarden voor *chronische* besmettingen van de intakte huid door radionucliden ingedeeld volgens 5 radiotoxiciteitsklassen en dit mits gebruik van enkele hypothesen die DUNSTER reeds in 1962 had vooropgesteld bij de berekening van zijn huidbesmettingsnormen <sup>(6)(7)</sup>. Een belangrijk criterium was hier o.a. dat de dosislimiet voor de huid (= maximum 0.50 Gy/jaar) niet mocht overschreden worden n.a.v. de chronische huidbesmetting in het arbeidsmidden.

REFERENTIEWAARDEN VOOR BESMETTING INTAKTE HUID *		
(Bq/dm <sup>2</sup> )		
Volgens Klasse Nucliden		
I	(o.a. $\alpha$ -stralers met $Z > 92$ ...)	30
II	( <sup>235</sup> U, <sup>238</sup> U, U-nat, ...)	30
III	( <sup>131</sup> I, ...)	300
IV	( <sup>14</sup> C, <sup>57</sup> Co, <sup>85</sup> Sr, <sup>123</sup> I, <sup>125</sup> I, ...)	3.000
V	( <sup>3</sup> H, ...)	30.000

\* gemiddelde waarde voor opp. huid over 100 cm<sup>2</sup> en  
gemiddelde voor handen gemeten over 300 cm<sup>2</sup>

TABEL 3

### III. DEKONTAMINATIE VAN DE GEKWETSTE HUID

Gezien het risico op inwendige besmetting zal dekontaminatie van besmette wonden voorrang hebben op die van de intacte huid. Wonden met de hoogste graad van radioactieve besmetting worden uiteraard eerst gedekontamineerd. Spoelingen met een steriele fysiologische oplossing of zuurstofwater, het -indien mogelijk onder veneuse occlusie- laten bloeden van de wonden zijn allemaal eenvoudige technieken die meestal bij machte zijn om het grootste deel van de kontaminatie te verwijderen. In geval van wondbesmettingen met oplosbare radionucliden zal men indien er specifieke chelatoren gekend zijn (bv. D.T.P.A., desferoxamine, penicillamine, ...) deze zo snel mogelijk aanwenden in loco en/of via systeemtherapie. Men kan in sommige gevallen de resorptie van oplosbare radionucliden verhinderen door het in loco appliceren van insolubilerende stoffen (bv. K-rhodizonaat bij strontiumbesmettingen).

Indien het wondbesmettingen met zeer fijne partikeltjes betreft (afmetingen tot enkele microns, d.w.z. kleiner dan bv. de diameter van rode bloedcellen) is het echter niet meer zo evident om een duidelijk onderscheid te maken tussen *ter plaatse* oplosbare en onoplosbare verbindingen want ook de zgn. "onoplosbare" partikeltjes kunnen dan gemakkelijk uit de wonde weggevoerd worden via het veneuze vaatbed.

Tijdens het nameten van de besmettingsgraad zal men in de mate van het mogelijke de bloedtoevoer even onderbreken en de wonde droog deppen teneinde stralenabsorptie in de wonde zoveel mogelijk te beperken. Dit is van buitengewoon belang bij de evaluatie van  $\alpha$ -contaminaties. Men kan ook kompressen nameten die gebruikt werden voor het reinigen en drogen van de wonden.

De behandelende geneesheren en verpleegkundigen mogen zelf geen controle-apparatuur aanraken omdat ze deze also zouden besmetten. De meetsonden dienen langzaam voortbewogen te worden en dit steeds op een konstante afstand van het lichaamsoppervlak. Dit laat toe om opeenvolgende metingen op een betrouwbare manier te vergelijken. Bovendien wordt door het respekteren van een zekere - zij het geringe - afstand vermeden dat de meetsondes zelf zouden besmet worden, hetgeen de resultaten volledig zou vervalsen. Tijdens de controle-metingen zal men steeds zo veel mogelijk besmette gebruiksvoorwerpen, kompressen,

afvalcontainers e.d.m. uit de direkte omgeving verwijderen omdat ze de metingen vals-positief kunnen beïnvloeden. Besmette afval zal trouwens steeds op regelmatige tijdstippen uit de therapieruimten verwijderd worden teneinde de stralingsblootstelling voor alle aanwezigen te verminderen en de controle-metingen meer betrouwbaar te maken.

Indien het wondkontaminaties betreft met onoplosbare langlevende nucliden met hoge radiotoxiciteit zal men indien de bovenvermelde procedures nog resulteren in een te hoge restkontaminatie overgaan tot het exciseren van het besmette weefsel "en bloc". Indien het kleine volumina betreft (bv. prikwonden) kan men ook overgaan tot coagulatie van het besmette weefsel onder lokale verdoving. Nadien zal dan de kontaminatie gemakkelijk geëlimineerd worden samen met de eschare. Amputatie zal slechts zeer zelden uitgevoerd dienen te worden bv. in geval van zeer ernstige restkontaminaties met hoogtoxische nucliden waarbij resectie van de besmette weefsels en bloc technisch zinloos zou zijn.

De behandeling van radioactief besmette brandwonden dient te gebeuren in een brandwondencentrum en bestaat uit spoelingen, douches, baden e.d.m. Men zal steeds trachten de kontaminanten op een zo weinig mogelijk traumatiserende wijze uit de brandwonden te verwijderen. Zo zal men bij niet open tweedegraads-brandwonden eventueel zelfs een zekere restkontaminatie accepteren liever dan dat er inwendige besmetting kan optreden via door dekontaminatieprocedures geopende blaren. Dit te meer daar in vele gevallen het blaarvocht het radioactieve materiaal op voldoende afstand van de radiosensiebele basale cellenlaag brengt om een zekere afscherming te waarborgen tegen de  $\beta$ -stralingskomponent.

I.V. toediening van complexanten zal steeds dienen te gebeuren wanneer mogelijk. Adstringentia (bv. oplossingen van 2 %  $\text{AgNO}_3$ ) werden reeds met succes aangewend om de systeemresorptie van hoogtoxische  $\alpha$ -stralers uit brandwonden te verminderen. Het lokaal appliceren van preparaten die proteolytische enzymen bevatten (bv. chymotrypsine, papaïne) kan anderzijds de eliminatie van necrotische radioactief besmette weefsselfragmenten bespoedigen.

Men zal de kontaminatiegraad evalueren d.m.v. verschillende soorten analyses : rechtstreekse besmettingsmetingen t.h.v. de wonden, radio-toxicologische analyses van spoelvlloeistoffen, kompressen, verbanden, urine- en faecesstalen e.d.m. Zogenaamde scanning-onderzoeken zullen toelaten om de migratie van bepaalde isotopen in functie van de tijd over het ganse lichaam te objectiveren.

Rekening houdend met de metabole modellen beschreven in ICRP-30 kan men voor de verschillende isotopen limieten voor jaarlijkse inname via wondkontaminatie berekenen : zie bv. Tabel 4 <sup>(8)</sup>.

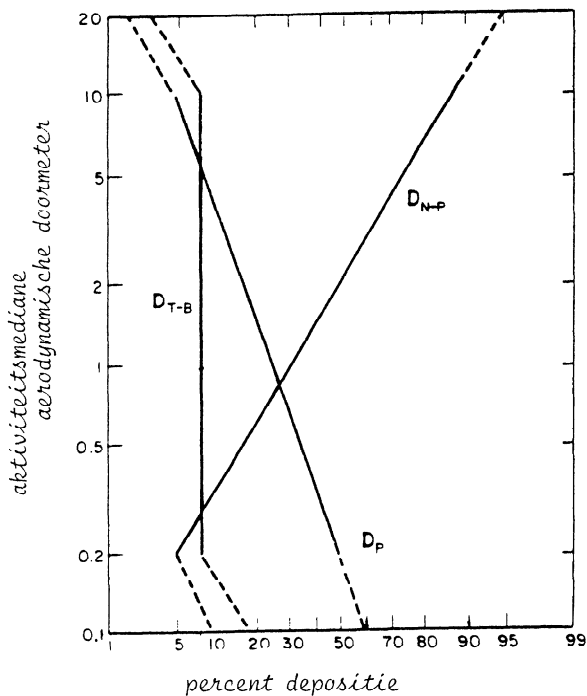
ANNUAL LIMITS OF INTAKE (ALI) VOOR WONDCONTAMINATIE (10 <sup>6</sup> Bq)	
<sup>3</sup> H	3.000
<sup>60</sup> Co	3
<sup>85</sup> Sr	60
<sup>90</sup> Sr	0.4
<sup>125</sup> I	1
<sup>131</sup> I	1
<sup>137</sup> Cs	4
<sup>226</sup> Ra	0.02
<sup>238</sup> U	0.03
<sup>239</sup> Pu	2 x 10 <sup>-5</sup>
<sup>241</sup> Am	2 x 10 <sup>-5</sup>

TABEL 4

In de praktijk zal men dikwijls gekonfronteerd worden met kontaminaties door een ganse reeks radionucliden (bv. "splitsingsprodukten") en dosisestimaties zullen in die gevallen niet zo gemakkelijk zijn.

#### IV. DEKONTAMINATIE NA INHALATIE

De plaats waar een aerosol zich zal deponeren na inhalatie wordt bepaald door de gravimetrische karakteristieken : zie Figuur 4. Algemeen kan men stellen dat hoe kleiner de aerodynamische diameter hoe minder het aerosol zich zal neerzetten ter hoogte van de bovenste luchtwegen ( $D_{T-B}$ ,  $D_{N-P}$ ) en hoe groter de kans dat het alveolair gedeelte van de long gekontamineerd wordt ( $D_P$ ).



FIGUUR 4

In het bijzonder voor onoplosbare verbindingen zal de depositieplaats van het aerosol bepalend zijn voor het al dan niet optreden van een snelle evacuatie uit de long : vanaf het neusslijmvlies tot en met de terminale bronchioli komt er immers een trilhaarepitheel voor dat instaat voor de reiniging van de luchtwegen. Dit proces kan slechts enkele minuten in beslag nemen voor deposities t.h.v. de trachea; voor de kleinere distale luchtwegen bedraagt de eliminatietijd meestal enkele uren. Studies aangaande de efficiëntie van expectorantia vertoonden slechts ontgoochelende resultaten.

Uiterst fijne onoplosbare aerosolen die zich alveolair neerzetten kunnen er lange tijd verblijven (biologische halfwaardetijden tot ettelijke honderden dagen) vooraleer ze na fagocytose door de alveolaire macrofagen o.a. getransfereerd worden naar de peribronchiale en mediastinale lymfeknopen. Het enige middel om alveolaire onoplosbare depots te verwijderen bestaat in het uitvoeren van (multipele) longspoelingen. Deze bij de mens nog experimentele techniek is echter niet zonder risico : de overall-mortaliteit wordt geschat op  $\pm 0,2$  à  $0,5$  % per sessie<sup>(9)</sup>. Om deze reden zullen longspoelingen pas uitgevoerd worden indien op lange termijn het carcinogenese-risiko beduidend gestegen is of indien op korte termijn door de (rest)kontaminatie stralingspneumonitis en/of longfibrose kan veroorzaakt worden. Volgens ICRP-41 zou stralingspneumonitis pas voorkomen boven een drempel van  $\pm 5$  Gy acute dosis bij uitwendige blootstelling en de mediaan voor dit fenomeen zou  $\pm 10$  Gy bedragen. Voor hoge L.E.T.-straling zou er geen verminderd effect per dosiseenheid bestaan indien het dosisdebiel daalt<sup>(10)</sup>.

Geïnhaleerde oplosbare verbindingen diffunderen door het luchtwegenepitheel en geven steeds aanleiding tot systeem-resorptie onafgezien van de exacte plaats van hun depositie. Men zal trachten de neerzetting van de geresorbeerde radionucliden in het organisme te verminderen door het instellen van een dilutietherapie, het toedienen van complexanten en/of door het stimuleren van de diurese.

Uiteraard gaat inhalatie ook gepaard met ingestie van radionucliden n.a.v. de werking van het muco-ciliair transportmechanisme, gevolgd door ophoesten en inslikken van de kontaminanten. De therapie zal bestaan in het doen verminderen van de gastro-intestinale resorptie door perorale toediening van complexantia of insolubiliserende stoffen (zie verder).

Een speciale vermelding verdient de inhalatie (+ ingestie) van jodium. Bij ongevallen waarbij er vrijzetting is van splijttingsprodukten in de atmosfeer zal jodium steeds een belangrijke plaats innemen. De bevolking en a fortiori het interventiepersoneel zullen daarom dienen beschermd te worden. Voor interventiepersoneel zal dit gebeuren door huidbescherming (Jodium fixeert zich gemakkelijk in de huid en penetreert zelfs de intacte huid !) en door ademhalingsbescherming (volgelaatmasker met filterpatroon dat o.a. actief kool bevat of onafhankelijke ademhalingsapparatuur). Uit preventief oogpunt kan men eveneens stabiel Jodium toedienen (zie verder). Ook voor de omliggende bevolking kan naast het advies om tijdens het voorbijtrekken van de radioactieve wolk binnen te blijven, het verzadigen van de schildklier met stabiel Jodium (bv. onder de vorm van KI) aangewezen zijn.

Er bestaat geen exact gedefiniëerde indicatie voor het preventief toedienen van stabiel Jodium. Volgens ICRP-40 <sup>(11)</sup> moet men deze therapie voor de omgevende bevolking *overwegen* indien de schildklierdosis op "korte" (...) termijn 50 mSv zou overschrijden, en pas bij een te verwachten schildklierdosis hoger dan 500 mSv zou de therapie *zeker* moeten ingesteld worden. In de praktijk zal het echter niet zo eenvoudig zijn om steeds in de vroegste stadia na een ernstig ongeval de "op korte termijn" gecumuleerde schildklierdosis te schatten. Anderzijds is het zo dat indien het aangewezen is om stabiel Jodium toe te dienen, dit dan alleszins zo snel mogelijk na de contaminatie moet gebeuren.

Het toedienen van stabiel KI dient te geschieden rekening houdend met volgende 3 stelregels :

- a) voldoende dosis : 100 mg iodide (= 130 mg KI) per dag is de meest aanbevolen dosis. Volgens STERNTHAL et al. <sup>(12)</sup> zou de toediening van 30 mg iodide per dag nagenoeg even effectief zijn. Andere auteurs (cfr. infra) raden tot 300 mg iodide/dag aan om een zo groot mogelijk blockage-effect te bekomen (bv. bij interventiepersoneel).

Het betreft hier een therapievorm gebaseerd op saturatie en/of isotopische dilutie : de toediening van een grote hoeveelheid van het stabiele Jodium impliceert enerzijds dat de schildklier verzadigd wordt met het stabiele element, en anderzijds dat door de verdunning van het radionuclide in een overmaat van het stabiele element -alleen reeds op statistische gronden- de waarschijnlijkheid op incorporatie van het radioactief Jodium overeenkomstig verminderd wordt.



- b) vroegtijdige toediening : volgens NCRP-rapport nr. 65 <sup>(13)</sup> dient aan personen die accidenteel werden blootgesteld -onafhankelijk van de wijze van blootstelling- onmiddellijk 300 mg KI<sup>(\*)</sup> toegediend te worden. Indien het KI pas 6 uren na de kontaminatie toegediend wordt zal nog slechts + 50 % van de opname van het radioactief Jodium geblokkeerd worden, en indien het tijdsinterval meer dan 12 uren bedraagt is het beschermend effect nog slechts miniem.
- c) voldoende lange duur : het blockage-effect zou met één dosis van 100 mg iodide ongeveer 24 à 48 uur aanhouden. Best dient men dus een dagelijkse (onderhouds)dosis van 30 à 100 mg iodide toe want het opgenomen radioactief Jodium kan gerecycleerd worden. Deze therapie wordt verdergezet gedurende 7 à 14 dagen. Indien de blootstelling aan radioactief Jodium voortduurt zal de therapie overeenkomstig dienen verlengd te worden.

Ernstige nevenwerkingen van deze KI-toedieningen zouden bij bovenvermelde dosissen zeer gering zijn. KI is trouwens een chemische verbinding die vroeger zeer frekwent in veel hogere doses werd voorgeschreven o.a. als bestanddeel van hoestsiropen. Nevenwerkingen van KI zijn afhankelijk van de toegediende dosis en van de behandelingsduur en kunnen zowel intra- als extrathyroïdaal voorkomen :

- bij lage doses (< 25 mg iodide /d) : zgn. "Jood Basedow" of iodide geïnduceerde thyreotoxicosis kan voorkomen doch slechts zeer zeldzaam. Eveneens zeer zeldzaam in dit dosisbereik zijn de extrathyroïdale complicaties zoals bv. metaalsmaak en branderig gevoel in mond en keel, koudegevoel in het hoofd, oedemen, periarteritis nodosa-achtige syndromen, enz.

---

(\*) In geval van blootstelling van de algemene bevolking aan radioactief Jodium beveelt NCRP rapport nr. 55 (14) een dagelijkse dosis van 130 mg KI aan voor een adequate blockage van de schildklier (voor kinderen onder 1 jaar : halve dosis). De hogere dosis bovenvermeld (300 mg KI) zou nog een iets betere blockage tot gevolg hebben en dit zonder noemenswaardige toename van de nevenwerkingen.

- bij hoge doses (50-500 mg iodide/d) kan een iodide-goiter en/of iodide geïnduceerde hypothyroidie zich voordoen. Het risico hiervoor onderstelt echter meestal een langdurige toediening van deze hoge doses en wordt als niet relevant beschouwd voor 7 à 14 dagen durende therapieën. Als meest bekende extrathyroidale nevenwerking in dit dosisdomein kan de (reversiebele) sialadenitis weerhouden worden al dan niet gepaard gaande met koorts.
- na zeer hoge doses (> 1000 mg iodide/d) kunnen thyroiditis en symptomen t.h.v. de gastro-intestinale tractus (nausea, braken, diarree) voorkomen.

Bij de aanbevolen dosissen zouden ongewenste reacties volgens de Amerikaanse F.D.A. slechts zeer uitzonderlijk voorkomen. Ernstige reacties worden geschat op 1 per  $10^6$  à  $10^7$  toegediende dosissen. Personen met een potentiëel risico zijn voornamelijk diegene met een (gekende) jood-allergie, vasculitis met deficiëntie in de complementbinding, en deze met een goiter of andere schildklier-afwijkingen gebonden aan auto-immuunziekten. Men dient uiteraard geen KI toe te dienen aan personen die reeds een substitutietherapie krijgen n.a.v. de afwezigheid van of het niet functioneren van de schildklier.

De "American Thyroid Association" van haar kant stelt dat de door NCRP-55<sup>(14)</sup> bepaalde drempeldosis voor de schildklier waarbij KI-toediening zou dienen te gebeuren (zijnde 0,1 à 0,3 Gy), en a fortiori de door ICRP-40 voorgestelde drempeldosis van 0,05 à 0,5 Gy als te konservatief. Zij stelt de drempeldosis t.h.v. de schildklier op 1 Gy voor de algemene bevolking, en op 0,5 Gy voor zwangere vrouwen en kinderen<sup>(15)</sup>.

Tenslotte nog enkele praktische bemerkingen i.v.m. de bedeling van de KI-capsules of -tabletten. Voor interventiepersoneel waarbij, ondanks het ter beschikking hebben van beschermingsmiddelen (kledij, autonome ademhalingsapparatuur of volgelaatmasker + filterpatronen met actief kool) het risico op inwendige besmetting reëel is, zal men alleszins het principe hanteren : "liever overbodig dan te laat KI toedienen". Voor de algemene bevolking is men echter gekonfronteerd met het feit dat er niet veel tijd beschikbaar is wanneer de indicatie tot bedeling zich

echt zou stellen. Hoe zal men zich dan -in de zeker heersende paniek-situatie- organiseren om binnen een tijdslimiet van enkele uren een individuele bedeling te verrichten in minder dicht bevolkte gebieden of in een grootstedelijke agglomeratie ? Wie doet dan de bedeling en heeft men voor deze personen op grote schaal de nodige beschermingsmiddelen voorhanden ? Ondermeer om deze redenen hebben bepaalde landen geopteerd om KI op een goed gestructureerde wijze op voorhand ter beschikking te stellen van de huisgezinnen. Dit systeem heeft echter ook zijn nadelen : het wantrouwen tegenover kernenergie dat reeds leeft in de algemene bevolking kan er alleen maar nog groter door worden want bestelt men niet via deze methode - zeker na Chernobyl - op indringende wijze samen met het KI de reële mogelijkheid van een ernstig nucleair ongeval mee ten huize ?

#### V. DEKONTAMINATIE NA INGESTIE

Darmbesmetting kan voorkomen na het inslikken van (min of meer) onoplosbare radioactieve contaminanten die oorspronkelijk na inhalatie werden neergezet in de bovenste luchtwegen. Oplosbare verbindingen kunnen na systeemresorptie uitgescheiden worden in de darm via de gal, pancreassekreties e.d.m. Echte ingestieongevallen in de strikte zin van het woord zijn zeer zeldzaam en kunnen in het werksmilieu bijna enkel voorkomen bij overtreden van de veiligheidsvoorschriften (bv. besmettingsongeval in een laboratorium na pipeteren met de mond i.p.v. met een automatisch systeem).

Indien de darmbesmetting nog maar pas optrad kan men een maagspoeling verrichten of emetica toedienen. Voor minder recente besmettingen kan men de darmtransit trachten te versnellen door toediening van laxativa. In sommige gevallen kan dit laxerend middel tevens de opname van welbepaalde isotopen verminderen : zo zal  $MgSO_4$  Radium en Strontium omzetten tot de onoplosbare sulfaatvormen. Methyleenblauw kan de darmresorptie van Caesium verminderen en bepaalde antacida kunnen gebruikt worden om Radium en Strontium te insolubiliseren in het darmlumen. Alginate werden ook reeds meermaals met succes aangewend om de opname van Strontium te onderdrukken.

Een ander middel om de excretie na systeemresorptie te vermeerderen is het toedienen van diuretica samen met het voorschrijven van een geforceerde vochtinname. Deze procedure is zeker aangewezen voor het elimineren van bepaalde fissieprodukten zoals bv.  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{38}\text{Cl}$ ,  $^{42}\text{K}$ ,  $^{103}\text{Ru}$  en  $^{106}\text{Ru}$ .

Een samenvatting van de belangrijkste medicamenteuze therapieën na ingestie (al dan niet na inhalatie) wordt schematisch weergegeven in Tabel 5 (13)(16)(17). De therapie zal steeds gebaseerd zijn op het volgende principe : het verminderen van de absorptie in het organisme of van depositie van circulerende radionucliden in de zgn. "kritische organen" en/of het stimuleren van de excretie. Dit kan o.a. gebeuren door middel van chelatie, isotopische dilutie of mobilisatie van de radionucliden. Een voorbeeld van de laatste vorm is het toedienen van Parathormoon dat d.m.v. gestimuleerde beenderafbraak het reeds in het bot gedeponeerde radioactieve Strontium, Calcium of Fosfor terug kan vrijzetten.

## VI. PRAKTISCHE ORGANISATIE VAN DE DEKONTAMINATIE

In tegenstelling tot de hulpverlening aan enkel bestraalde slachtoffers die geen enkel risico inhoudt voor de hulpverleners, zal het manipuleren van radioactief besmette patiënten wel met de nodige voorzorgsmaatregelen dienen te gebeuren. De te volgen procedures inzake hulpverlening aan radioactief besmette slachtoffers verschillen echter niet veel van deze die van toepassing zijn bij brandwonden of na contact met giftige stoffen.

Rekening houdend met de paniekstemming die zeker zal heersen bij een ernstig nucleair ongeval is het toch niet overbodig om te herinneren aan de elementaire stelregel dat de "klassieke" hoogdringende medische handelingen STEEDS absolute voorrang moeten krijgen : levensreddende handelingen mogen nooit uitgesteld worden indien beschermkledij of stralingskontrolle-apparatuur niet onmiddellijk beschikbaar is. Dekontaminatie dient wel zo vlug mogelijk te gebeuren doch in deze gevallen slechts in tweede instantie wanneer er tijd en middelen beschikbaar zijn.

Ioniserende straling op zichzelf veroorzaakt geen bewustzijnsverlies op korte termijn of onmiddellijk waarneembare letsels. Daarom dient wanneer het slachtoffer bewusteloos is steeds gezocht te worden naar andere oorzaken dan straling.

Het louter preventief toedienen van infusen en injecties dient in geval van ernstige huidbesmetting afgeraden te worden.

Tijdens de interventies in besmette zones dienen de hulpverleners speciale beschermkledij tegen in- en uitwendige besmetting te dragen (overall's, laarzen, handschoenen, hoofdkappen en volgelaatmasker of onafhankelijke ademhalingsapparatuur). Deze door werknemers uit de nucleaire sector goed gekende beschermkledij en ademhalingsbescherming behoedt het interventiepersoneel meestal bijna volledig tegen besmetting. De gamma- en hoogenergetische beta-stralingskomponent kan alleen d.m.v. personen- en omgevingsdosimetrie geëvalueerd worden. Het interventiepersoneel zal aldus buiten de beschermingsmiddelen ook individueel van (alarm)dosimeters dienen voorzien te worden. Elke interventieploeg zal ook best begeleid worden door een agent stralingskontrolle die op ieder ogenblik, terwijl het medisch team zich bezighoudt met de triage en dringende zorgen, informatie kan verschaffen over lokaal heersende stralings- en besmettingsniveau's.

Indien de medische toestand van de slachtoffers en de klimatologische toestand het toelaten wordt de besmette bovenkledij reeds verwijderd ter plekke voordat de slachtoffers worden vervoerd naar het ziekenhuis. Het verwijderen van deze besmette bovenkledij vermindert meestal in belangrijke mate het besmettings- en bestralingsrisiko en dit zowel voor de slachtoffers als voor de hulpverleners. Indien het enigszins mogelijk is zal men per persoon de besmette kledij in een plasticzak plaatsen die voorzien is van een stralingspictogram en een etiket waarop de datum en het uur en de naam van het slachtoffer vermeld worden.

De slachtoffers zullen zoveel mogelijk in de nucleaire instelling waar het besmettingsongeval zich voordeed gedekontamineerd worden indien hun aantal en hun medische toestand, en de lokale stralings- en besmettingsniveau's op de dekontaminatieplaats dit toelaten. Deze werkwijze kan alleszins de onnodige verspreiding van radioactieve

BELANGRIJKSTE SPECIFIEKE BEHANDELINGEN OM DE ELIMINATIE VAN OPLOSBARE RADIONUCLIDEN UIT HET ORGANISME TE BESPOEDIGEN

MEDICATIE	WERKINGSMECHANISME	POSOLOGIE	ELEMENT	EFFICIENTIE	NEVENWERKINGEN
. Alginaten	Vormt een visceuze onoplosbare gel waarin absorptie van Strontium plaatsheeft	10 g eerste dag (in 1 à 2 x) vervolgd naargelang ernst kontaminatie aan dosis 4 x 1 g/d	Sr, Ra	**	Niet toxisch doch obstipatie is mogelijk, maar in de praktijk zeldzaam
. Bariumsulfaat	Vormt onoplosbare sulfaten met aardalkalimetalen	300 g in waterige oplossing per os (éénmalige therapie)	Sr, Ra	*	Geen toxiciteit doch obstipatie is mogelijk
. Chlorthalidone	Diureticum	1 à 2 x 100 mg eerste dag per os te reduceren tot 50 mg/d naargelang ernst kontaminatie	<sup>3</sup> H, Na K, Ru in het bijzonder	*	. deshydratatie, electrolytenstoornissen, allergische reacties . contra-indicatie : overgevoeligheid aan sulfonamiden en bij nier- en leverinsufficiëntie
. Diethyleen-triamine-penta-acetaat (D.T.P.A.) als Ca- of Zn-zout	Chelatie via -O- en -N-groepen waarna urinaire excretie van het oplosbaar complex	1 g I.V. of als aerosol (eventueel meerdere malen te herhalen)	Transuranen } Lanthaniden } Mn, Co } Zr, Ru }	*** * * *	. contra-indicatie bij leucopenie of nierinsufficiëntie . contra-indicatie voor Uranium tenzij gegeven samen met NaHCO <sub>3</sub> zodat er geen neerslag van onoplosbare uraniumcomplexen in nier plaatsheeft
. Stabiel iodide	Via saturatie schildklier (blocking-agent) en via isotopische dilutie	130-300 mg KI of 1 à 2 ml Lugol-oplossing per os zo snel mogelijk ; therapie te vervolgen met 30 à 130 mg per dag gedurende 7 à 14 d	I	***	cfr. tekst

BELANGRIJKSTE SPECIFIEKE BEHANDELINGEN OM DE ELIMINATIE VAN OPLOSBARE RADIONUCLIDEN UIT HET ORGANISME TE BESPOEDIGEN  
(vervolg)

MEDICATIE	WERKINGSMECHANISME	POSOLOGIE	ELEMENT	EFFICIENTIE	NEVENWERKINGEN
. Magnesium-sulfaat	Laxativum. Vormt bovendien onoplosbare sulfaten met Sr en Ra	10-15 g per dag per os	Alle contaminanten en Sr, Ra in het bijz.	*	contra-indicatie bij nierinsufficiëntie, galwegenobstructie en inflammatoire aandoeningen van het colon
. Pruisisch blauw $\text{Fe}_4 \left[ \text{Fe}(\text{CN})_6 \right]_3$	Ionenwisselaar voor sommige mono-valente kationen, intestinale (re)absorptie wordt alzo vermeden	3 x 1 g p.d. per os gedurende meerdere dagen	Cs	***	. geen toxiciteit bekend . obstipatie
. Natrium-bicarbonaat	Vormt met het uranyl-ion een stabiel oplosbaar anionisch complex $\text{UO}_2 \left[ (\text{CO}_3)_3 \right]_4^-$ dat vervolgens urinair uitgescheiden wordt	250 ml à 1.4 % in isotone zoutoplossing langzaam l.v. toedienen	U	**	. kan metabole alkalosis en onderdrukking van de ademhaling veroorzaken (respiratoire acidosis) . contra-indicatie indien electrolytenstoornis aanwezig is
<p>* SLECHTS MATIGE EFFICIENTIE  ** EFFECTIEF INDIEN SNEL NA KONTAMINATIE TOEGEDIEND  *** ZEER EFFECTIEF INDIEN SNEL NA KONTAMINATIE TOEGEDIEND</p>					

TABEL 5

besmetting naar verzorgingsinstellingen ingeschakeld op een verder echelon sterk verminderen. Ook tijdens het vervoer van de slachtoffers zal men erop toezien dat verspreiding van de (rest)besmetting zoveel mogelijk vermeden wordt : de berrie wordt afgedekt met een deken, laken, metaal- of plasticfolie e.d.m. en de slachtoffers -die al dan niet reservekledij kregen- worden eveneens bv. in een laken gewikkeld.

Tenzij het nodig is voor de verdere verzorging van de slachtoffers, blijft het gebruikte radioactief besmet materiaal op de plaats van het ongeval. Indien mogelijk worden de slachtoffers vervoerd door ambulanciers die niet in de besmette zone zijn geweest. Indien dit niet mogelijk is zullen de ambulanciers en hulpverleners toch trachten niet-besmette overkledij aan te trekken (in het bijzonder handschoenen en overshoes) vóór ze plaatsnemen in de ziekenwagen.

In afwachting van de aankomst van de slachtoffers wordt er in het ziekenhuis een "gecontroleerde zone" afgebakend die de transport-, opvang- en therapieruimten omvat. De vloeren dienen hier liefst goed afwasbaar te zijn maar worden best nog supplementair met een plasticfolie bedekt waarvan de randen om veiligheidsmaatregelen worden vastgekleefd. De wanden dienen eveneens goed afwasbaar te zijn en best is er een geleidelijke overgang tussen vloer en wanden. De therapieruimte(n) dienen te beschikken over goed afwasbare behandelingstafels bekleed met een waterdichte hoes en over de nodige sanitaire installaties (stortbaden, lavabo's) en medische infrastructuur benodigd voor het uitvoeren van dekontaminatieprocedures volgens de modaliteiten beschreven in de vorige hoofdstukken. Autopsietafels zijn goed afwasbaar en hebben een drainagesysteem en kunnen daarom -indien voorzien van rubberen matjes- eveneens in overweging genomen worden voor het dekontamineren van besmette slachtoffers die dermate gekwetst zijn dat ze niet meer zelfstandig kunnen baden of douchen. Er bestaan echter in de handel ook systemen om bedlegerige patiënten te baden en deze voldoen eveneens zeer goed voor het uitvoeren van dekontaminaties in deze gevallen. Gemarkeerde plasticen afvalzakken worden in van stralingspictogrammen voorziene afvalcontainertjes geplaatst die voorzien zijn van een loden wand.



Het behandelend team dient te bestaan uit geneesheren (-stralingsdeskundigen), verpleegkundigen en deskundigen stralingskontrolle. Dit team draagt beschermkledij zoals gebruikelijk in een operatiezaal. Ter aanvulling zal men een goed afwasbare lange schort, rubberen laarzen en een supplementair paar chirurgische handschoenen voorzien. Ieder lid van het team ontvangt personen- en vingerdosimeters. Iedereen dient voorafgaandelijk een welomschreven taak te krijgen : zo zijn er personen verantwoordelijk voor de inrichting van de opvang- en therapieruimte, het afbakenen van een "gecontroleerde zone", het in gereedheid brengen van de apparatuur stralingskontrolle, personen verantwoordelijk voor het administratief werk, de coördinatie van de logistieke steun, en het eigenlijke behandelend team. Het regelmatig simuleren van een dekontaminatie-sessie is de beste methode om onvolkomenheden in de werking op te sporen.

Zelfs indien er veel besmette slachtoffers het ziekenhuis binnengebracht worden zal men lange wachttijden dienen te vermijden. Alleszins zal men steeds zo snel mogelijk besmette kledingsstukken verwijderen, de patiënten laten douchen, verse kledij verschaffen en informeren of er geen stabiel Jodium dient toegediend te worden. Niet gekwetste besmette slachtoffers die toch naar het ziekenhuis vervoerd werden zullen zoveel mogelijk zelf instaan voor hun eigen dekontaminatie onder algemeen toezicht van een verpleegkundige en/of een agent stralingskontrolle. Diegenen belast met het administratief werk zullen trachten steeds per persoon een dekontaminatieverslag op te maken (bondig registreren van de dekontaminatieprocedure op een vooraf ontworpen formulier; de meetresultaten kunnen bv. aangeduid worden op een anatomische schets). Tijdens de dekontaminatie zal men zoveel mogelijk wegwerpmateriaal gebruiken. Men zal steeds trachten de verspreiding van radioactief stof of radioactieve vloeistoffen zoveel mogelijk te vermijden. Alle kledij, gebruikte kompressen en andere radioactief besmette afval zal men zoveel mogelijk per individu bewaren in gemerkte plasticzakken. Indien enigszins mogelijk zal men zelfs de spoelvloeistoffen afzonderlijk opvangen (bv. douchecellen waarvan de afvoer geleid wordt naar afzonderlijke opvangcontainers geplaatst in een afgeschermd kelderruimte). Uiteraard is het volgen van deze laatstvermelde procedure nauwelijks mogelijk indien er veel slachtoffers

moeten gedekontamineerd worden. Anderzijds dient men zich wel te realiseren dat men voor arbeiders uit de nucleaire sector die het slachtoffer zijn van een bestralings- en/of besmettingsongeval over zoveel mogelijk gegevens dient te beschikken teneinde de wettelijk verplichte bestralingstabel te kunnen invullen.

Het lozen van radioactief besmet afvalwater is onderworpen aan wettelijke bepalingen : zie bijlage.

Na dekontaminatie zal men tevens zo snel mogelijk bij de slachtoffers een bloedname verrichten voor biologische dosimetrie en radio-toxicologische analyses. Deze eerste bloedname geldt als referentiepunt voor de verdere follow-up van alle cellulaire elementen in het bloed ; de telling van het absolute aantal lymfocyten in functie van de tijd is van uitzonderlijk belang gezien de uitgesproken stralingsgevoeligheid van dit celtype. Bij de meer ernstige besmettings- en bestralingsongevallen worden de eerste dag best een 4-tal bloedcontroles verricht en in functie van de resultaten worden ze dan eventueel (zij het met een lagere frekwentie) verdergezet. N.a.v. de eerste bloedname wordt ook een bloedstaal genomen ( $\pm$  10 ml in een *steriele* gehepariniseerde tube) voor verzending naar een cytogenetisch laboratorium ter bepaling van chromosoomafwijkingen na lymfocytenkweek. Bij zeer ernstige bestralings- en besmettingsongevallen waarbij later mogelijkerwijze een beenmergtransplantatie in overweging zal moeten genomen worden zal men ook zo snel mogelijk een supplementair bloedstaal afnemen voor HLA-typering. Indien inwendige besmetting mogelijk was zal men dit trachten te objectiveren door het verzamelen van alle urines en faeces gedurende enkele dagen. Long-, schildklier- en ganse lichaamstellingen kunnen aangewezen zijn om de retentie van inwendig opgenomen fissieproducten ( $\beta$   $\gamma$  stralers) te volgen.

Na het beëindigen van de dekontaminatie worden de patiënten indien nodig overgebracht naar de aangewezen ziekenhuisafdeling. Vóór ze echter de "gecontroleerde zone" verlaten worden ze nog onderworpen aan een grondige besmettingscontrole. Indien hun medische toestand dit toelaat worden ze overgebracht naar een ziekenhuisbed of een brancard die niet in deze gecontroleerde zone geweest is, doch geplaatst wordt langs de

buitenzijde van de controlelijnen die de gecontroleerde zone afbakenen. Men kan de wielen van deze transportmiddelen voor alle zekerheid nog nameten op besmetting vóór de patiënt wordt overgebracht naar de afdeling. Het transfert wordt verricht door personeelsleden die niet in de gecontroleerde zone geweest zijn. Het voltallig interventiepersoneel zal eveneens nagemeten worden vooraleer ze deze zone verlaten. Alle gebruikte materialen die besmet zijn en de gebruikte lokalen zullen nadien gedekontamineerd worden onder supervisie van stralingskontrole-deskundigen.

S C K  
E  
NB I J L A G EZIN VAN EEN COLLECTOR VOOR DE OPVANG VAN  
RADIOAKTIEF BESMETTE EFFLUENTEN<sup>(18)</sup>

1. Art. 2 van het K.B. dd. 11.2.1987 zegt dat :

Het lozen van vloeibare radioactieve afval in de ondergrondse riolen en collectoren verboden is, indien de concentratie in radionucliden (Bq/l) > 1/100 van de limiet van de jaarlijkse opnemings door ingestie (Bq) voor volwassen personen van het publiek.

2. Limiet van jaarlijkse opnemings door ingestie door het publiek van relevante radionucliden in een reactoromgeving :

Bq			
Cr-51	10 <sup>8</sup>	Na-24	10 <sup>7</sup>
Mn-54	7.10 <sup>6</sup>	Zr-95	5.10 <sup>6</sup>
Co-60	7.10 <sup>5</sup>	Nb-95	8.10 <sup>6</sup>
Ru-106	7.10 <sup>5</sup>	La-140	2.10 <sup>6</sup>
Sr-90	10 <sup>5</sup>	Ce-141	6.10 <sup>6</sup>
I-131	10 <sup>5</sup>	Ce-144	8.10 <sup>5</sup>
Cs-137	4.10 <sup>5</sup>	(Pu-239	2.10 <sup>4</sup> )
Cs-134	3.10 <sup>5</sup>		

In het eerder reële geval dat de  $\alpha$ -besmetting van het water niet te hoog is, lijkt 10<sup>5</sup> Bq een veilige waarde voor een mengsel van  $\beta$   $\gamma$  isotopen. De concentratie in het afvoerwater zou dan < 1000 Bq/l moeten zijn, zijnde 1 %.

3. Indien men veronderstelt dat een persoon ontsmet wordt met 100 l water en een huidoppervlak heeft van 180 dm<sup>2</sup> (ICRP-23) wordt de limiet van 1000 Bq/l bereikt bij een homogeen besmettingsniveau van:

$$\frac{1000 \times 100}{180} \approx 500 \text{ Bq/dm}^2$$

4. De oppervlakte-besmetting die internationaal op containers toelaatbaar is, is 370 Bq/dm<sup>2</sup>. Op het S.C.K./C.E.N. is 50 Bq/dm<sup>2</sup> toegelaten voor plaatsen die aanraakbaar zijn.

5. In geval van een hoge besmetting kan de waarde van 500 Bq/dm<sup>2</sup> gemakkelijk overschreden worden. Het lijkt dus aangewezen het water niet zomaar in de openbare riool te lozen.

Een collectietank laat toe :

- . het water af te voeren naar een gespecialiseerde inrichting
- . metingen uit te voeren en nadien al dan niet over te gaan tot lozing
- . de activiteit tijdelijk te stockeren in afwachting van radioactief verval.

## REFERENTIES

1. U.S.S.R. State Committee on the Utilization of Atomic Energy, The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and its Consequences : Information compiled for the IAEA experts' meeting, Annex 7 : Medical-Biological Problems. Vienna, 25-29 August 1986.
2. KONISHI E., YOSHIKAWA Y., Estimation of Depth of Basal Cell Layer of Skin for Radiation Protection. Rad. Prot. Dosimetry, Vol. 11, No. 1, pp. 29-33 (1985).
3. PRATZEL H., Grundlagen des Perkutanen Stofftransports, Habilitationsschrift. Ludwig-Maximilians-Universität, München 1985.
4. WRIXON A.D. et al., Derived Limits for Surface Contamination. NRPB-DL 2, 1979.
5. WRIXON A.D. et al., Derived Limits for Surface Contamination. Supplement to Report NRPB-DL 2, 1982.
6. DUNSTER H.J., Surface Contamination Measurements as an Index of Control of Radioactive Materials. Health Physics, 8, 353 (1962).
7. DUNSTER H.J., Derived Working Limits of Surface Contamination. AERE-RP/L-67 (Revised), 1963.
8. CARPAIJ W.J.M., KEVERLING BUISMAN A.S., The Care of Radiation Casualties : Physician's Manual. 6th Edition, ECN Petten, 1981.
9. VOELZ G.L., Current Approaches to the Management of Internally Contaminated Persons. In : The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness. K.F. Hübner, S.A. Fry Eds., Elsevier North Holland Inc., 1980.
10. ICRP Publication 41, Nonstochastic Effects of Ionizing Radiation. Pergamon Press, Oxford, 1984.

11. ICRP Publication 40, Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents : Principles for Planning. Pergamon Press, Oxford, 1984.
12. STERNTHAL E., LIPWORTH L., STANLEY B. et al., Suppression of Thyroid Radioiodine Uptake by Various Doses of Stable Iodide. N. Engl. J. Med., 303 : pp. 1083-1088, (1980).
13. NCRP Report No. 65, Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides. National Council on Radiation Protection and Measurements, Washington D.C., 1980.
14. NCRP Report No. 55, Protection of the Thyroid Gland in the Event of Releases of Radioiodine. National Council on Radiation Protection and Measurements, Washington D.C., 1977.
15. BECKER D.V. et al., The Use of Iodine as a Thyroidal Blocking Agent in the Event of a Reactor Accident. Report of the Environmental Hazards Committee of the American Thyroid Association, J.A.M.A., 252, 5, pp. 659-661, (1984).
16. JAMMET H. et al., Accidents radiologiques : Conduite à tenir en cas de surexposition. Institut Curie, C.E.A., Collection 84.03, 1984.
17. SMITH H., Assessment of and Therapy Following Contamination through the Lungs of Gastrointestinal Tract. J. Soc. Radiol. Prot. 5:1, (1985).
18. GOVAERTS P., S.C.K./C.E.N. Mol, Persoonlijke Mededeling.

R E S U M E

Après une évocation succincte de quelques principes de base, cet article traite en premier lieu de la forme la plus fréquente de contamination dans le secteur nucléaire, à savoir la contamination radioactive de la peau intacte. Les problèmes relatifs à la décontamination de la peau blessée et après inhalation ou ingestion de radionucléides sont traités ensuite. Finalement, quelques directives pratiques concernant la prise en charge de victimes contaminées sont données.

A B S T R A C T

After a concise review of several basic principles, this article first treats the most frequent form of contamination in the nuclear field i.e. the radioactive contamination of intact skin. Afterwards decontamination problems in case of a damaged skin and after inhalation and ingestion of radionuclides are commented. Finally some practical guide-lines for attending contaminated victims are given.

**KWALITEITSONDERZOEK EN CALIBRATIE VAN TOESTELLEN VOOR RADIOTHERAPIE**

POFFIJN A.

Laboratorium voor Standaarddosimetrie

Proeftuinstraat 86

9000 Gent

6 okt. 1989

**Samenvatting**

De algemene procedure voor de calibratie van locale standaarden en veldinstrumenten wordt voorgesteld en de onzekerheden die optreden bij elke stap in de calibratieketen worden berekend. Tevens wordt de organisatie behandeld en de resultaten besproken van het kwaliteitsonderzoek aan Co-60 stralingsbundels in België.

**1. Inleiding**

Het uiteindelijk doel van de radiotherapie is de maximale controle over de te behandelen tumor en het minimum beschadigen van het omringend gezond weefsel. Het succes van dergelijke ingrepen hangt veelal af van de nauwkeurigheid van toedienen van de gestelde dosis. Op basis van ICRU-24 (1) vereist men dan ook doorgaans dat bij radiotherapeutische behandelingen de vereiste dosis met een accuraatheid van 5% wordt toegediend. Uit recent onderzoek (2) is gebleken dat in sommige gevallen een nog grotere accuraatheid vereist is. Het bereiken van dergelijke precisie hangt gedeeltelijk af van de betrouwbaarheid van de gebruikte apparatuur, de calibratie-status van de meetinstrumenten en van het correct toepassen van een protocol, dat uiteindelijk toelaat om de aflezingen om te rekenen naar dosis in weefsel. De technische vereisten voor bestralingsapparatuur zijn wettelijk vastgelegd en de uit te voeren controles hieromtrent zijn in detail beschreven in verschillende documenten (3,4). De in België aanwezige calibratie-infrastructuur en de gevolgde calibratie procedure zal verder beschreven worden. Tevens zullen de resultaten van het uitgevoerde Co-60 kwaliteitsonderzoek besproken worden.



## 2. Calibratie

Voor het instand houden van de betrouwbaarheid van een veld-instrument wordt veelal een periodieke calibratie, bv. om de drie maand (5) tegenover een locale standaard aanbevolen. Dit referentie instrument, dat een toestel van hoge kwaliteit moet zijn en dat in het hospitaal zelf of in een Secundair Standaard Laboratorium (SSDL) aanwezig is, moet op zijn beurt om de twee jaar gecalibreerd worden in termen van exposie of Kerma in lucht. Dit laatste gebeurt in een Primair Standaard Laboratorium (PSDL), dat beschikt over instrumentarium van de hoogst mogelijk metrologische kwaliteit. Voor België beschikt het standaardlaboratorium te Gent over een grafietcalorimeter en een cavitetskamer als primaire standaarden voor Co-60 calibraties en een reeks vrije-lucht ionisatiekamers voor calibraties in het lage en medium X-stralen gebied (resp. 5-30 kV, 20-80 kV en 50-400 kV). In het standaardlaboratorium wordt met behulp van de primaire standaarden de basisgrootte Kerma in lucht  $K_{air,c}$  bepaald voor de beschikbare stralingsbundels. Uit de kennis van deze fundamentele grootte wordt dan de calibratiefactor  $N_k$  afgeleid voor de locale standaard :

$$N_k = K_{air,c} / M_c \quad (1)$$

waarbij  $M_c$  de voor druk en temperatuur gecorrigeerde uitlezing voorstelt van het te calibreren instrument in de Co-60 bundel van het standaardlaboratorium. De locale standaard, die dienst doet als transfer-instrument tussen PSDL en gebruiker, wordt dan aangewend om in een referentiepunt de dosis in water  $D_{w,u}$  te bepalen bij de door de gebruiker toegepaste stralingskwaliteit :

$$D_{w,u} = N_k * M_u * C_{w,u} \quad (2)$$

Tenslotte wordt dan het veldinstrument gecalibreerd in dezelfde geometrie in termen van geabsorbeerde dosis in water :

$$N_{w,u} = D_{w,u} / M_f \quad (3)$$

met  $M_u$ ,  $M_f$  de gecorrigeerde uitlezingen van de lokale standaard en het veldinstrument in de bundel van de gebruiker,  $C_{w,u}$  een te bepalen conversiefactor en  $N_{w,u}$  de calibratiefactor van het in routine gebruikt instrument. Het grote voordeel van de beschreven werkwijze, die overgenomen is uit het Nederlands protocol (6) en

die toegepast wordt door alle hospitaalfysici in Nederland en België, is zijn eenvoud. Met behulp van één enkele conversiefactor  $C_{w,u}$  bekomt men onmiddellijk de dosis in water. Deze factor werd in eerste instantie nauwkeurig bepaald bij verschillende bundelkwaliteiten voor cilindrische ionisatiekamers met zuivere grafietwand. Het zijn enkel kamers van dit type die als locale standaarden aanvaard worden in dit formalisme. De basis-idee achter dit protocol is om steunend op een Co-60 calibratie de dosis in water te kunnen bepalen voor het hele energiespectrum aan de hand van een eenvoudig formalisme en om zodoende de kans op fouten te minimaliseren. Voor Co-60, hoog-energetische fotonen- en elektronenbundels is dit formalisme toepasbaar, met de restrictie evenwel dat voor elektronen met energien beneden de 4 MeV, vlakke ionisatiekamers als locale standaard moeten gebruikt worden. Voor laag-energetische X-stralen is dit formalisme in de praktijk niet bruikbaar, daar de toe te passen correctiefactoren te groot worden en daar er zelfs belangrijke verschillen kunnen optreden tussen kamers van één en hetzelfde type.

Uit de onzekerheden die optreden in elke stap van de calibratieketen (tabel 1) blijkt dat het in veel gevallen erg moeilijk zal zijn om uitendelijk de gestelde accuraatheid van 5% over het hele target-volume te bereiken, zeker bij gecompliceerde behandelings-schema's. Daar de grootste onzekerheid voorkomt bij de transfer van lucht naar water, hebben sommige standaardlaboratoria, zoals het NPL(7), besloten om calibraties rechtstreeks uit te voeren in water en dit bij de in de praktijk gebruikte stralingskwaliteiten. Andere laboratoria, waaronder dit te Gent hebben geopteerd voor de ontwikkeling van een watercalorimeter, waarmee rechtstreeks de geabsorbeerde dosis kan gemeten worden. Gelet op de substantiële vooruitgang geboekt in het begrijpen en beheersen van de chemische reacties die optreden bij de interactie van straling met water, zal het binnen afzienbare tijd mogelijk zijn dit type calorimeter als primair meetinstrument te gebruiken.

Tabel 1 : Onzekerheden op de geabsorbeerde dosisbepaling

	Co-60 (%)	Mega- volt X (%)	Elek- tronen (%)
Bepaling Kerma in lucht in PSDL voor Co-60	0.7	0.7	0.7
Calibratie locale standaard voor Co-60	0.3	0.3	0.3
Transfer naar referentiepunt in water	2.4	2.6	3.2
Calibratie van veldinstrument	0.3	0.3	0.3
Dosis-monitor bij bestralingseenheid	0.5	0.5	0.5
<hr/>			
Totale onzekerheid	2.6	3.1	3.6

### 3. Kwaliteitsonderzoek

Het gebruik van gecalibreerde dosimeters is een nodige doch geen voldoende voorwaarde voor goede radiotherapie-praktijk. Om de accuraatheid en de uniformiteit van de dosimetrie in de radiotherapie te bevorderen, werd door het IAEA en de WHO een internationaal netwerk van Secundaire Standaard Dosimetrie Laboratoria (SSDL) opgericht. Tussen deze SSDL's, waarvan het laboratorium te Gent deel uitmaakt sinds 1977, wordt om de twee jaar een intervergelijkende kwaliteitsstudie betreffende de bepaling van geabsorbeerde dosis in water aan Co-60 bundels opgezet. Bovendien wordt van deze SSDL's verwacht dat ze nationale of regionale kwaliteitsstudies organiseren. In 1986 werd in overleg met de Belgische Vereniging voor Radiotherapie-Oncologie (BVRO-ABRO) besloten een nationaal

kwaliteitsonderzoek met TLD op te zetten aangaande de dosimetrie praktisch aan Co-60 bundels. Hierbij diende het SSDL te Gent als centraal laboratorium. Het eigenlijk onderzoek werd voorafgegaan door een pilootstudie, waaraan door zes door de BVRO aangeduide radiotherapie centra deelnamen. Aan de eigenlijke studie werd op rijwillige basis deelgenomen door 25 instituten. Strikte geheimhouding aangaande de deelnemers en hun resultaten werd gegarandeerd door de BVRO, die ook instond voor de distributie en ophaling van alle materiaal ter beschikking gesteld door het SSDL. De deelnemers werd gevraagd om een stel dosimeters, bestaande uit telkens 3 TLD's, in water te bestralen met Co-60 op een diepte van 5 cm voor een veldgrootte van 10x10 cm en dit zowel in horizontale als verticale bestralingsstand. De vereiste dosis was 2 en 4 Gy. Om bij de evaluatie met eventuele invloed van achtergrondstraling rekening te kunnen houden, werd ook een "dummy" mee opgestuurd. Aan de hand van een bijgevoegde vragenlijst werd informatie ingewonnen aangaande de gebruikte apparatuur, de karakteristieken van het stralingsveld, de calibratie-status van de voorhanden zijnde dosimeters en het gevolgde protocol of de gevolgde procedure bij de bepaling van de geabsorbeerde dosis. In deze studie werd een reeks geselecteerde Li-7 TLD's, gevat in een teflon matrix, gebruikt. De selectie gebeurde zodanig dat de spreiding in het lot kleiner was dan 3%.

Voor 60% der totaal uitgevoerde bestralingen was de afwijking tussen de toegediende en de vereiste dosis kleiner dan 5%, voor 20% der uitlezingen lag de fout tussen 5 en 10%, terwijl voor nog eens 20% de afwijking groter was dan 10% (fig.1).

Om de correctheid van de dosimetrie-berekeningen en de accuraatheid van instellen voor de 4 bestralingen te kunnen nagaan werd de gemiddelde procentuele afwijking per instituut berekend, alsook de spreiding erop. De gemiddelde waarde geeft een idee over de al of niet correct toegepaste dosimetrie, terwijl de spreiding de nauwkeurigheid van werken weerspiegelt. Hieruit bleek dat afwijkingen groter dan 5% niet te wijten zijn aan onnauwkeurig instellen, maar aan een fout in de dosimetrie.

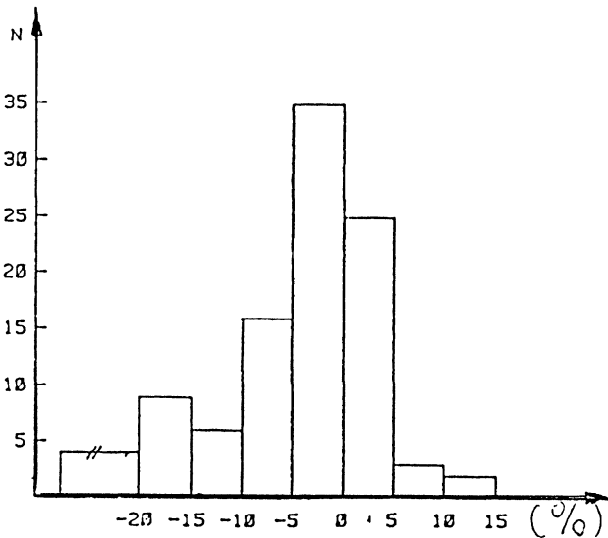


Fig.1 : Frequentieverdeling der procentuele afwijkingen tussen de toegediende en vereiste dosis

Bij fouten groter dan 5% werden de instellingen door de BVRO verzocht de door hen gebruikte procedure en apparatuur na te kijken en deel te nemen aan een extra controle ronde. Dit leidde er uiteindelijk toe dat van alle deelnemende centra er slechts één overbleef met een niet verklaarde afwijking boven de 5%.

#### 4. Besluit

Wegens het enorme belang van de calibratie-status voor alle in de radiotherapie gebruikte meetinstrumenten, zou ook in ons land de aanbeveling moeten uitgevaardigd worden om lokale standaarden tenminste om de twee jaar te laten calibreren.

De resultaten van het uitgevoerde kwaliteitsonderzoek wijzen op het praktisch nut ervan en tonen ook de noodzaak aan om zulke studies regelmatig te laten plaatsgrijpen. Dergelijk onderzoek moet dan niet beperkt blijven tot bestralingen aan Co-60 bundels in referentiecondities, maar zou uitgebreid kunnen worden tot meer klinisch gebruikte configuraties en tot het gebied van hoog-energetische X-stralen en elektronen. Hierbij zou dan gebruik kunnen gemaakt worden van chemische dosimeters, zoals Fricke dosimeters, die een grotere precisie garanderen. Tenslotte lijkt het ook aangewezen dat voor het in dienst stellen van nieuwe bestralingsapparatuur of bij vervanging van bestaande installaties, de gebruiker een werkdocument aan de bevoegde instanties zou voorleggen, bevattende niet alleen de technische specificaties van de apparatuur, maar ook enkele opgemeten basiskarakteristieken van de stralingsbundel.

#### Referenties

- 1) International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU Rep. 24, 1976.
- 2) Brahme A., Acta Radiol. Oncol.23, 1984, 379.
- 3) Annals of the ICRP, ICRP Publication 33, 1981.
- 4) Annals of the ICRP, ICRP Publication 44, 1984.
- 5) Nordic Association of Clinical Physics, Acta Radiol. Oncol.20, 1981, 401.
- 6) Nederlandse Commissie Stralingsbescherming, NCS Report-2, 1986.
- 7) Burns J.E. et al., Dosimetry in Radiotherapy, vol 2, 1988, 125.

**Summary**

The general procedure for calibration of local standards and field instruments is presented and the uncertainties involved in each step of the calibration chain are calculated.

The set-up and results of a quality assurance programme for Co-60 therapy units in Belgium are also discussed.

**Résumé**

La procédure suivie pour la calibration de différents types de dosimètres est présentée, ainsi que le calcul des incertitudes introduites à chaque niveau de la chaîne de calibration.

L'organisation et les résultats d'un programme de qualité concernant la thérapie au Co-60 sont discutés également.

**EVOLUTION AND FUTURE OF RADIOBIOLOGY**

Some thoughts at the occasion of the 22th Congress of the  
European Society for Radiation Biology (ESBR),  
Brussels, 11-16 September 1989

A. Wambersie \* (1), J.R. Maisin (1), J. Gueulette (1), H.G. Menzel (2)

- (1) Unité de Radiobiologie et de Radioprotection, Université Catholique de Louvain, Av. Hippocrate, 10, 1200 - Brussels (Belgium).
- (2) Fachrichtung Biophysik und Physikalische Grundlagen der Medizin, Universität des Saarlandes - 665 - Homburg -Saar (Fed. Rep. Germany).

**Summary**

Applications of ionizing radiations become more and more numerous and more and more important in our modern developed society. They can result in irradiation of defined groups of persons ("professionally exposed") but also in some increase of the natural background exposure of the whole population. Some specific problems are taken as examples and briefly discussed : radon in buildings, medical radiology, energy production. It is the task of the radiobiologists to quantitatively evaluate the risk of such exposure in order to be able to weight and balance them with respect to the benefit that radiations can provide. Contribution of radiobiology as a support for radiation therapy of cancer is recognized. Lastly, radiobiology plays an essential role in fundamental research; this aspect will not be developed here. The need for recruiting and training young radiobiologists in our modern society, in Belgium as well as in the European Community countries, is stressed .

\* This note is part of the Chairman's Opening Address at the Congress

---



## **Introduction**

Radiobiology is the discipline which investigates the effects of ionizing radiation on living organisms. In our modern life, the applications of ionizing radiations become more and more numerous ; energy production, industrial and medical applications, fundamental research, space programmes, etc...They imply exposure or irradiation of selected groups of individuals and/or of large human populations, as well as of other living systems.

The consequences of these exposures have to be investigated : risk vs. benefit analyses have to be performed, optimization programmes have to be initiated. In many of these applications, radiobiology plays an essential role in answering relevant questions : quantitative risk evaluation, shape and slope of the dose-effect relations, etc. The radiobiology community continuously has to face new problems and a large range of radiobiological systems, as well as irradiation conditions, have to be investigated.

Some applications of radiations (and of radioactivity) will be reviewed, in particular those which are essential in the development of our modern society, and in which radiobiology has an important role to play.

Radiobiology also plays a more and more relevant role in providing a basis for radiation therapy not only in suggesting new approaches for improving the differential effect between tumours and normal tissues but also in optimizing the treatment technique according to individual tumour characteristics.

Last but not least radiobiology is an important tool in fundamental research (e.g. techniques to study the structure and function of DNA, repair mechanisms, genetics, etc...); this aspect of radiobiological research will not be considered in the present paper.

## 1. Natural radiation and the problem of radon

The human population is exposed, since its origin, to different sources of ionizing radiation (natural radiation). Since several decades, an additional exposure has been introduced by the use of ionizing radiation for different purposes : medical, industrial, military, etc... (artificial radiation). The exposure of the population of the European Community (EC) to ionizing radiations is summarized on Figure 1 [ 18 ].

Among the different components, radon contributes to about one half (49 %) of the total exposure [ 13 ]. Radon is a natural element, but our modern way of life increases its concentration in the houses and offices (use of specific building materials, reduced ventilation etc..). This situation raises several problems :

- what is the radon concentration in different types of houses and buildings in different regions and different countries;
- what is the relation between radon concentration in air and absorbed dose in the bronchus mucosa (a difficult dosimetric problem);
- is there actually any correlation between the radon concentration in houses, and an increased incidence of lung cancer. An epidemiological study has been initiated in Belgium, in collaboration between the University of Ghent and the University Clinics of Mont Godinne [14 ].

The fundamental problem is however the risk coefficient, or, more generally, the dose-effect relationship for radon irradiation (i.e. a high-LET radiation, a low-dose-rate irradiation, an exposure localized to the bronchus mucosa). It is typically an important radiobiological problem, and it cannot be excluded that, depending on the conclusions, some action may have to be taken by the Health Authorities in the different countries.

The other main sources of exposure are the cosmic rays (9,6 %) , the radionuclides incorporated in the terrestrial layers (14 %), the internal emitters (<sup>40</sup>K) (11.2 %). In practice, little can be done to reduce these parts of the exposure.

## 2. Medical radiology

Medical exposure (mainly diagnostic radiology) contributes for 15,3 % to the exposure of the EC population (average exposure 0.5 mSv per year).

Among the different types of radiological examinations, some are of particular importance from the point of view of radioprotection : mammography and pediatric radiology will be considered here.

Mammography is an examination which is frequently performed (Table I). In France, 350.000 mammographies are performed per year. In an "ideal" screening programme, every woman above 45 years should undergo a mammographic examination every 2 years. As a matter of fact, the incidence of breast cancer is high in Europe, and has increased during the last 20 years from 1/20 to 1/11 women. In Belgium, 5.294 new cases of breast cancer have been reported in 1987 [ 10 ].

The dose delivered to the breast during mammography varies within large limits depending on the technique (equipment, expertise of the radiologist). Entrance surface doses, per film, ranging from 2 to 60 mGy have been reported (i.e. a ratio of 30 !).

Breast cancer can be induced by radiation, but the main problem is to evaluate the risk coefficient and the shape of the dose-effect relationship. The reported risk coefficients actually differ from author to author ( $6 \cdot 10^{-6}$  per 10 mGy at 10 years; up to  $25 \cdot 10^{-6}$  per 10 mGy) [2, 7, 16 ]. This is again an important radiobiological problem : the answer is essential to enable the evaluation of the potential risk of mammography and to justify the efforts for dose reduction.

In pediatric radiology, the importance of dose reduction is recognized since, in children, both the risk of cancer induction and the genetic risk are relatively high (even close to the maximum) [ 12, 15 ]. Here also radiobiology has to quantitatively assess the risk as accurately as possible.

The dose reduction (and the risk evaluation) is especially relevant for those examinations which are frequently performed. For example, in a screening programme for early detection of congenital hip displasia, in France, 2/3 of the girls and 1/4 of the boys undergo a X-ray examination within their first year of life [ 6 ]. A recent CEC report stresses that the dose varies within large limits (even more than for mammography) with the technique (entrance surface dose from 0,0007 to 1,292 mGy, i.e. a ratio of 185!) [ 8 ].

Another type of examination which is frequently performed, and for which reduction of exposure is relevant, is chest radiography. Figure 2 presents the device developed at the University Clinics St-Luc, by D. CLAUS for chest X-rays in children. The usefulness of such improvement is obvious, since in a 1958 report, Chassagne et al. indicated that the gonades were included in a chest X-ray in 30 % of the cases for children below 2 years, and in 20 % of the cases for children between 2 and 4 years [ 5 ].

### 3. Energy production

When comparing the relative merits of the methods for producing energy or electricity, we have to take into account - after normalisation for a given quantity of energy ( $W \times h$ ) - the cost but also the accidents (their frequency and severity), the occupational diseases and ecological consequences.

Nuclear reactors are at present one possibility for energy production. Like all the methods for producing energy, they imply risks which have to be evaluated and compared in an objective way with the risks of other techniques for producing energy. It is obvious that radiobiology has an important role to play in the risk assessment for nuclear energy.

The probability of a major nuclear accident is low in the European Community countries. However, the main sources of concern are the effects of low doses and especially the risk of cancer induction and the genetic risk for the workers and the populations. Table 2 presents the recent UNSCEAR evaluation of the risk of lethal cancer induction after a large dose of low-LET radiation delivered at high-dose rate. The risk reaches 4-7 % per Gy (i.e. 4 to 7 lethal cancers induced in a group of 100 persons receiving 1 gray) [ 16 ].

The difficulty is of course the extrapolation of these figures at low-dose. According to UNSCEAR, the risk coefficient should be divided by a factor between 2 and 10, when irradiation is delivered at low dose and/or low dose rate. No dose or dose rate reduction factor should be applied for high-LET radiations, e.g. neutrons or alpha particles [ 16 ].

Since the effect to be observed is small (a few additional cancers compared to the 20-30 % spontaneous cancer incidence), it cannot be demonstrated by epidemiological studies nor in the laboratory by cancer induction in large population of mammals. The only hope to solve the problem is fundamental radiobiology and a better understanding of the induction mechanisms in radio-carcinogenesis. As a matter of fact, the understanding of mechanisms implies the knowledge of the shape of the dose-effect relation.

The risk of the other types of energy production have also to be evaluated to obtain a fair comparison. For example, in Belgium, the economy was largely based in the past on coal mines. Beside the accidents, silicosis was a real problem and today the Fund for Occupational Diseases still supports 37.000 past mine workers, in addition to 13.000 widows and children (Dr. R. VandeWeyer, personal communication).

In addition, as far as the environment is concerned, each year 5 milliards tons of coal are transformed into CO<sub>2</sub> and ejected into the atmosphere with the well-known ecological consequences (Fig. 3) [ 9 ]. The same comment can be applied to the burning of other types of fossiles (oil, natural gas).

#### **4. Radiobiology as a basis for improving the efficiency of radiation therapy**

As a last application of radiobiology, we want to mention the attempts for improving the effectiveness of radiation therapy. Cancer incidence is high in the EC countries (20-30 %), and increases with the ageing of the population. Radiation therapy remains one of the most efficient treatment modalities, alone or - more and more frequently - in combination with surgery or chemotherapy. About 50 % of the cancer patients need radiotherapy at one or the other stage of the disease.

The progress made in radiation therapy during the last decades is recognized. It is due mainly to technological factors (better tumour localisation, better beam selectivity, more accurate dosimetry). However, further improvement is still necessary and radiobiology can suggest new approaches (Table III). All these approaches need radiobiological support, but some of them rest on radiobiological bases only, such as the use of high-LET radiations, and hypoxic cells sensitizers.

In addition, another promising approach is the use of individual predictive tests. Briefly, as developed at the M.D.Anderson Hospital in Houston, a tumour sample is grown and the radiosensitivity tests are performed in vitro [ 3 ]. These tests combined with other parameters (such as labelling index, cytofluorometry, degree of differentiation, doubling time, micronuclei) can help the therapist to optimize the treatment, i.e. type of radiation, dose and fractionation, combination with drugs, etc [ 17 ].

## 5. Conclusions

The role of radiobiology and of the radiobiologists in fundamental research is well acknowledged [ 4, 11, 15 ]. However, it extends far outside the doors of the laboratories. Applications of ionizing radiations in our modern society are more and more numerous and important. Some examples have been reviewed : radiology, energy production, as well as the problem of radon in buildings. These applications inevitably imply exposure of different groups of the population and as a consequence risks. It is the role and the duty of the radiobiologists to evaluate these risks in an objective and accurate way, so that they can be weighted and balanced against the benefit provided by the use of radiations.

In radiotherapy also, and more generally in cancer therapy, the role of radiobiology becomes more and more obvious, not only for interpreting the observed clinical responses, but also for suggesting new approaches.

In contrast with the importance of these problems for the development of our modern society, there is a growing concern that there could be, in a near future, a shortage of competent radiobiologists. A significant cohort of experienced scientists is now reaching retirement age and inadequate measures have been taken over the last years for their replacement. It is now essential to fund training programmes that will assure the continuity of existing knowledge. This is true for Belgium and also recognized by the CEC [ 18 ]. Several factors are probably involved which are worthwhile to be investigated. There is a danger that the accumulated expertise would be lost, or not updated or not adequately developed.

Our society needs experts capable to provide objective and competent advice about problems - present and future - in which radiations are involved. An action is then needed towards the university, the research councils, the governments, even the public to stimulate new carriers and motivation for radiobiological research.

## REFERENCES

1. H. BOUHNİK, J.L. RENAUD-SALIS, C. MACCIA  
Report EUR. 11059, Radiation Protection, 37, 311-341, 1987.
2. J.D. BOYCE, C.E. LAND, R.E. SHORE, J.E. NORMAN, M. TOKUNAGA  
Risk of breast cancer following low dose radiation exposure.  
Radiology, 131, 589-597, 1979.
3. W.A. BROCK, M.H. MAOR & L.J. PETERS  
Predictors of tumor response to radiotherapy : Proc. Symp. at Lawrence Berkeley  
Lab., Univ. California, Berkeley, California, May 1-3, : Radiation Research, 104,  
290-296, 1985.
4. K.H. CHADWICK, H.P. LEENHOUTS  
The molecular theory of radiation biology. Springer-Verlag, Berlin, 1981.
5. D. CHASSAGNE, A. DUTREIX, M. GASIOROWSKI, H. NAHUM, R. PEREZ et  
M. TUBIANA  
Doses reçues au niveau des gonades au cours des examens radiologiques pratiqués  
chez l'enfant. Annales Radiologie, 1, 233, 1958.
6. G. CONTENTO, M.R. MALISAN, R. PADOVANI, C. MACCIA, B.F. WALL, P.C.  
SHRIMPTON  
A comparison of diagnostic radiology practice and patient exposure in Britain,  
France and Italy, The British Journal of Radiology, 61, 143-152, 1988.
7. D.M. EDDY  
Screening for breast cancer. Theory, analysis and design.  
Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall inc., 1980.
8. H. FENDEL, K. SCHNEIDER, C. BAKOWSKI, G. SLAVIN, M.M. KOHN  
Specific principles for optimisation of image quality and patient exposure in  
paediatric diagnostic imaging. BIR-Report 20 (British Institute of Radiology),  
1989, in press.
9. S. KULLANDER, B. LARSSON  
Tjernobyl i perspektiv  
Uppsala Universitet, ISBN 91-506-0531-3, 1986.
10. MINISTERE DE LA COMMUNAUTE FRANCAISE, SERVICE HYGIENE ET  
PREVENTION  
Le dépistage du cancer du sein, Santé et Communauté, n° 13, octobre 1989.
11. E. MOUSTACCHI  
Structure et fonctionnement de l'ADN; réparation de l'ADN, in Mécanismes de la  
cancérogénèse; progrès récents et idées nouvelles. Electricité de France, 3-19,  
1985.

12. W.U. MÜLLER, B. SANDER, C. STREFFER  
Teratogenic effects in mice after radiation exposure of preimplantation stages. Presented at the 22nd Annual Meeting of the European Society for Radiation Biology, Brussels, Belgium, September 11-16, 1989 (book of abstract, p. 142).
13. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS  
Radon, Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Meeting, March 1988, Naomi H. Harley, Editor, 7910 Woodmont Avenue, Bethesda, MD 20814, August 1989.
14. A. POFFIJN, R. MAK, M. VANHOORNE  
A pilot study on radon and lung cancer in Belgium. Presented at the 22nd Annual Meeting of the European Society for Radiation Biology, Brussels, Belgium, September 11-16, 1989 (book of abstracts, p. 173).
15. M. TUBIANA, J. DUTREIX et A. WAMBERSIE  
Radiobiologie. Hermann (Ed), Paris, 1986.
16. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR), Sources, effects and risks of ionizing radiation. 1988 Report to the General Assembly with annexes, United Nations, New-York, ISBN 92-1142143-8, 1988.
17. A. WAMBERSIE  
Is there any future for high-LET radiation ? *Strahlentherapie* 165 : 348-356, 1989.
18. A. WAMBERSIE, R.L. AKEHURST, F.MARCUS, C. PROUKAKIS, M.F. RAJEWSKY, W.K. SINCLAIR  
Evaluation of the Radiation Protection Research Programmes (1980-1984 and 1985-1989), Research Evaluation, Report N° 37, EUR 12145 EN, Commission of the European Communities, Brussels. Luxembourg, July, 1989.



TABLE I

MAMMOGRAPHY	
a) Number of mammographies performed :	
<u>France</u> : 350.000 per year	<i>(Bouhnik, 1987)</i>
<u>Screening program</u> : 1 exam. every 2 years (> 45 y.)	
b) Breast Cancer incidence (Europe) :	
<u>1/11</u> (25 % of all cancers) in women	
c) Dose to the breast :	
10 mGy (average surface entrance dose per film)	
range <u>2-60 mGy</u> (!)	
2.5 films per examination	
d) Risk of induction of breast cancer:	
<u><math>6 \cdot 10^{-6}</math></u> per 10 mGy at 10 years	<i>(Boyce, 1979; Eddy, 1980)</i>
up to <u><math>25 \cdot 10^{-6}</math></u> per 10 mGy	<i>(UNSCEAR, 1988)</i>

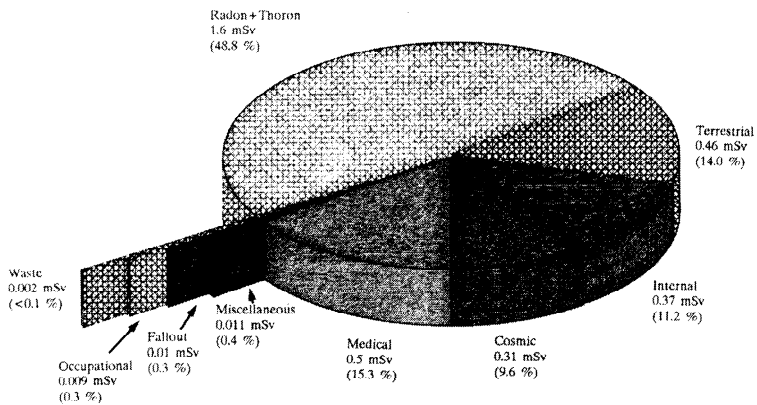
TABLE II

EXCESS CANCER DEATHS PROBABILITY FOLLOWING EXPOSURE TO 1 GRAY ORGAN ABSORBED DOSE (LOW-LET RADIATION, HIGH DOSE RATE) ( IN PERCENT)		
	Multiplicative risk projection model	Additive risk projection model
Red bone marrow	0.97	0.93
All cancers except leucemia	6.1	3.6
Bladder	0.39	0.23
Breast *	0.6	0.43
Colon	0.79	0.29
Lung	1.5	0.59
Multiple myeloma	0.22	0.09
Ovary *	0.31	0.26
Oesophagus	0.34	0.16
Stomach	1.3	0.86
Remainder	1.1	1.0
Total	7.1	4.5

\* value has to be divided by 2 to calculate the total and other organ risks, (UNSCEAR, 1988, [ 16 ]).

TABLE III

RADIOBIOLOGY AS A SUPPORT FOR A MODERN RADIATION THERAPY
METHODS FOR IMPROVING THE DIFFERENTIAL EFFECT BETWEEN TUMOUR AND NORMAL TISSUES
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Fractionation</li><li>2. Hyperbaric Oxygen (Hb)</li><li>3. Radiosensitizers (radioprotectors ?) (specific radiosensitizers for hypoxic cells : Misonidazole)</li><li>4. Hyperthermia</li><li>5. Neutrons (and high-LET radiations)</li></ol>



**Figure 1**

Annual radiation exposure of the EC population under normal conditions

The total dose is 3.3 mSv. In the first year after the Chernobyl accident, this dose increased by 0.0002-0.35 mSv for the average adult in the different EC Member States.

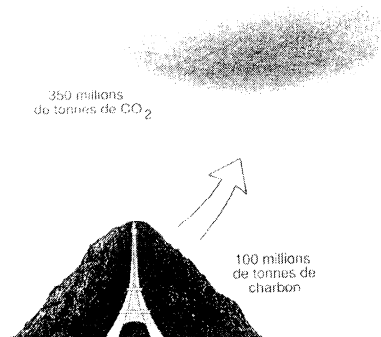
(from Wambersie et al. [ 18 ]).



Figure 2

Device developed in order to reduce the exposure of children during chest X-rays. The child stands against the film cassette. The radiographer, fully protected by a lead shield, stays behind the child and maintains it immobile holding its wrists. The radiographer's hands are not exposed. A collimation system, located in front of the child, delimitates the useful beam, reduces the field section and strictly limits the exposure to the chest.

Personal communication : D. Claus, UCL- Cliniques Universitaires St-Luc.



**Figure 3**

Quantitative evaluation of the amount of coal consumption. In Sweden, for example, each year 10 millions tons of coal are burned, and thus 350 millions tons of CO<sub>2</sub> are rejected in the atmosphere. The figure compares the heap of the coal to the Eiffel tower. (from S. Kullander and B. Larsson , 1986 [ 9 ]).

## **Résumé**

Les applications des rayonnements ionisants deviennent de plus en plus nombreuses et importantes dans le développement de notre société moderne. Il peut en résulter une irradiation de certaines catégories définies de personnes ("professionnellement exposées"), mais également une élévation de l'exposition naturelle de l'ensemble de la population. Quelques problèmes particuliers sont pris comme exemples et brièvement discutés : le radon dans les bâtiments, la radiologie médicale, l'énergie nucléaire. Il appartient aux radiobiologistes d'évaluer les risques liés à ces expositions afin de pouvoir les mettre en balance avec les avantages apportés par les rayonnements ionisants. La contribution de la radiobiologie comme support de la radiothérapie anticancéreuse est reconnue. Enfin, la radiobiologie joue un rôle essentiel en recherche fondamentale; cet aspect n'est pas développé ici. En pratique, tant en Belgique que dans les pays de la Communauté Européenne, le recrutement et la formation de jeunes radiobiologistes sont essentiels pour le devenir de notre société moderne.

## **Samenvatting**

De toepassingen van Ioniserende Stralen worden meer en meer talrijk en omvangrijk in onze maatschappij. Dit heeft als gevolg niet alleen dat bepaalde mensengroepen, beroepshalve blootgesteld, tegenwoordig meer stralen ontvangen maar ook dat de bevolking in het algemeen door stijging van de achtergrond eveneens meer bestraald wordt. Enkele specifieke problemen worden aangehaald en bondig besproken zoals Radon in de gebouwen, Medische Radiologie en Energieproductie. Het is de taak van de radiobioloog het risico van dergelijke blootstellingen quantitatief te beoordelen en te vergelijken met de voordelen dat stralen kunnen bieden. De bijdrage van de Radiobiologie als steun voor de radiotherapie van kankergezwellen wordt niet betwijfeld. Tenslotte speelt de radiobioloog een essentiële rol in de fundamentele research, waarop wij hier niet verder zullen ingaan. De noodzaak jongere Radiobiologen te recruter en te vormen in onze maatschappij zowel in België als in de Europese Gemeenschap wordt benadrukt.