

ISSN - 0250 - 5010

ANNALEN
VAN
DE BELGISCHE VERENIGING
VOOR
STRALINGSBESCHERMING

=====

VOL. 23, N° 1

1e trim. 1998

**STRALINGSBESCHERMING IN HOSPITAALMIDDENS
RADIOPROTECTION EN MILIEU HOSPITALIER**

Driemaandelijkse periodiek
2400 MOL 1

Périodique trimestriel
2400 MOL 1

=====

ANNALES
DE
L'ASSOCIATION BELGE
DE
RADIOPROTECTION

Hoofdredacteur Dr M.H. Faes
Fazantendreef, 13
B- 3140 Keerbergen

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat Mme Cl. Stiévenart
Av. Armand Huysmans 206, bte 10
B- 1050 Bruxelles - Brussel

Secrétaire de Rédaction

Publikatie van teksten in de Annales
gebeurt onder volledige verantwoorde-
lijkheid 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.

Ce numéro contient les textes d'exposés présentés le 6 juin 1997 lors d'une réunion organisée à Bruxelles par l'Association belge de Radioprotection et consacrée à:

Dit nummer bevat de teksten van de uiteenzettingen gedaan in Brussel op 6 juni 1997 ter gelegenheid van een vergadering van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming gewijd aan:

**RADIOPROTECTION EN MILIEU HOSPITALIER
STRALINGSBESCHERMING IN HOSPITAALMIDDENS**

SOMMAIRE	INHOUD	page
Dosimètres et dosimétrie du personnel en milieu médical et cas particulier de la radiologie Th LADRIELLE		1
Radiothérapie externe et radiothérapie métabolique: prescriptions réglementaires et recommandations des publications 60 et 73 de la CIPR J.P. CULOT		35
Dosimetrie bij het gebruik van een loodschoot H. MOL, I. DE LUYCK, S. VANDENBRANDEN, G. EGGERMONT, R. VAN LOON		85
Arbeidsgeneeskunde in ziekenhuizen met betrekking tot ioniserende en niet ioniserende stralingen L. de THIBAUT de BOESINGHE		101
Supplément: exposé présenté à Bruxelles à l'occasion de l'assemblée générale du 12 décembre 1997	Aanvullend: uiteenzetting gedaan op 12 december 1997 ter gelegenheid van de algemene vergadering	
Surveillance biologique, par analyse des anomalies chromosomiques, des personnes ayant pu être exposées aux radiations ionisantes A. LEONARD, E.D. LEONARD, G. DECAT, A. HILALI		113

Dosimètres et dosimétrie du personnel en milieu médical et cas particulier de la radiologie

Th. LADRIELLE

Expert agréé de classe I en radioprotection auprès de AV CONTROLATOM
Chargé de cours invité à l'Université Catholique de Louvain

Chapitre 1 - INTRODUCTION

Le principe fondamental régissant l'hygiène du travail est de mettre en place et de maintenir des conditions de travail et de sécurité satisfaisantes.

On conçoit donc la nécessité de disposer d'appareils de mesure précis pour les rayonnements ionisants et en particulier pour l'enregistrement des doses reçues par le personnel.

L'interaction des rayonnements ionisants avec la matière conduit inévitablement à l'IONISATION de la matière rencontrée et donc à la création de charges électriques. Le principe de la dosimétrie repose sur l'exploitation de ce pouvoir d'ionisation.

En effet, la mise en mouvement de charges électriques sera exploitée dans le dosimètre film badge et dans le dosimètre thermoluminescent.

Un dosimètre doit mesurer la quantité de rayonnement (ou dose) reçue par celui qui le porte.

Porter un dosimètre par une personne professionnellement exposée est une obligation légale (voir article 30.6 - 23.1 - 23.2 de l'A.R. du 28.02.1963).

C'est en soi déjà une raison suffisante pour porter son dosimètre et le traiter avec respect. Mais il est bon d'aller au-delà de cette obligation légale et de mieux comprendre la fonction du dosimètre.

La raison fondamentale du port d'un dosimètre est bien sur la mesure de la dose reçue par chaque travailleur. Mais outre le travailleur lui-même, ces doses intéressent également le médecin du travail chargé de la tutelle des travailleurs, les responsables des hôpitaux tenus d'organiser le travail dans le respect des dispositions légales et enfin les responsables des services de sécurité.

Il est ensuite très important d'assurer une surveillance active des doses, qui doit éventuellement conduire à une modification des conditions de travail et des moyens de protection mis en oeuvre en fonction de l'évolution des doses.

Enfin comme, malheureusement, on ne peut totalement exclure qu'un travailleur puisse être victime d'une irradiation anormale et reçoive de ce fait une dose supérieure aux limites admises, il est primordial pour le médecin du travail de connaître la dose que le travailleur a réellement reçue en vue de prendre des mesures de sauvegarde qui s'imposent et d'entreprendre le traitement le plus approprié.

L'on exige donc beaucoup du dosimètre personnel : il doit mesurer avec précision des doses faibles telles que les travailleurs en reçoivent habituellement, mais il doit aussi pouvoir mesurer des doses plus importantes de l'ordre des doses limites ou même des doses très importantes telles que celles pouvant résulter d'un accident grave. Le dosimètre est un instrument de mesure assez sophistiqué car il doit aussi pouvoir mesurer et discriminer des rayonnements différents tels que rayonnements beta, X et gamma de diverses énergies. Malgré cela, le dosimètre doit rester un instrument simple, robuste et fiable, qui puisse être porté par un travailleur sans trop de soucis, même quand son travail se fait dans des conditions difficiles.

Aspect légal de la dosimétrie

A.R. du 28.02.1963 (1)

Article 30.6

"Toute personne professionnellement exposée de catégorie A porte à hauteur de la poitrine un dosimètre qui est reconnu comme le dosimètre de base dans l'acte d'agrégation.

Elle porte un second au poignet si l'irradiation des mains est à craindre.

Si elle est susceptible de recevoir une dose supérieure à 1 mSv par semaine, elle porte en tout cas à hauteur de la poitrine un dosimètre à lecture directe ou permettant d'évaluer au moins journalièrement la dose reçue.

Tout visiteur ou travailleur admis dans une zone contrôlée doit porter les mêmes dosimètres que les travailleurs occupés dans cette zone.

... De plus, les dispositions sont prises pour que chaque travailleur ait accès aux résultats des mesures le concernant".

Article 23.1

La détermination de doses individuelles, y compris celles résultant d'expositions internes, doit être faite par le service de contrôle physique en concertation avec le médecin du travail.

Article 23.2

La détermination des doses individuelles est fournie directement au service de contrôle physique.

Chapitre 2 - LES DOSIMÈTRES

1. Le dosimètre film badge

1.1. Description

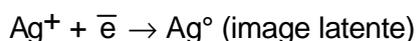
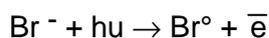
Le dosimètre-film est basé sur la propriété du film photographique d'être impressionné par un rayonnement ionisant :

rayonnement électromagnétique, gamma ou X ou rayonnement corpusculaire électrons ou rayonnement bêta.

Ce film est choisi pour sa sensibilité au rayonnement et sa bonne reproductibilité de mesure, conditions nécessaires pour la dosimétrie.

Le film couvre une large gamme de dose suffisante pour les besoins de la dosimétrie et une fois exposé, il conserve la mesure sans subir d'atténuation trop importante jusqu'au moment du développement.

Son format est celui d'un film dentaire (3 x 4 cm) et se présente sous forme d'un support film plastique recouvert sur chacune de ses faces d'une émulsion photographique, une face est couverte d'une émulsion rapide très sensible au rayonnement et couvre la gamme de faibles doses, tandis que la seconde face est couverte d'une émulsion lente moins sensible et permet de mesurer la gamme des doses élevées.



Le film est protégé de la lumière par un emballage en papier.

On observe que le film est d'autant plus impressionné, c'est-à-dire plus noir, s'il a été exposé à une dose plus importante.

Le noircissement du film est mesuré par transparence au moyen d'un densitomètre.

Celui-ci est constitué d'une source de lumière constante et d'un dispositif photomètre qui mesure la quantité de lumière transmise au travers du film.

On exprime la densité photographique ou densité optique (D) comme le rapport entre la fraction de lumière transmise I_1 et la quantité de lumière incidente I_0 par la relation :

$$D = \log \frac{I_1}{I_0}$$

D = densité optique ou photographique.
 I_1 = intensité de la lumière transmise.
 I_0 = intensité de la lumière incidente.

Le noircissement du film est lié à la quantité de rayonnement reçue par le film.

De plus, le noircissement des différentes pages du film dépendra de la nature et de la quantité du rayonnement, et ce en fonction de la pénétration à travers les écrans placés dans le boîtier.

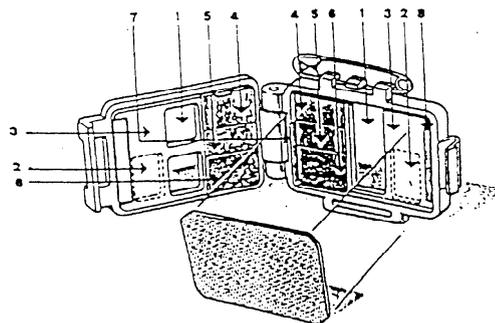
1.2. Sensibilité

- Discriminer en fonction énergie (20 keV à 3 MeV).
- Distinction dose peau et dose en profondeur.
- Sensibilité de 70 μ Sv (= un degré de noircissement).
- Emulsion rapide jusque 50 mSv.
- Emulsion lente jusque 10 Sv.

Détail du dosimètre : boîtier - film

Filtres :

1. fenêtres sans filtration
2. 50 mg/cm² plastique
3. 300 mg/cm² plastique
4. 1 mm Dural
5. 0,7 mm Cd + 0,3 mm Pb
6. 0,7 mm Sn + 0,3 mm Pb
7. 0,3 mm Pb protection latérale
8. 0,4 gr Indium



Il est ainsi possible de déterminer des doses de rayonnement gamma, X mous, X et beta.

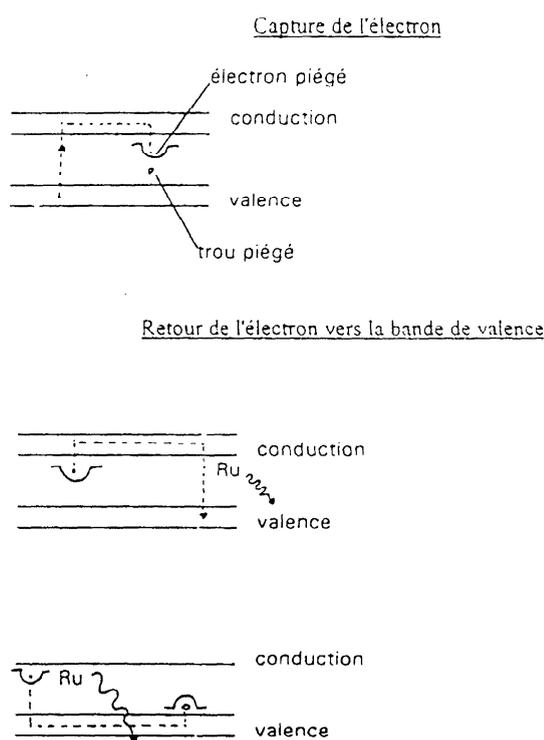
2. Le dosimètre thermoluminescent

2.1. Descriptif

Des dosimètres basés sur la thermoluminescence ont également été développés et constituent une alternative intéressante du dosimètre film.

Certaines substances telles le borate de lithium ou le sulfate de calcium, accumulent sous forme de défauts, une énergie proportionnelle à la dose de rayonnement reçue.

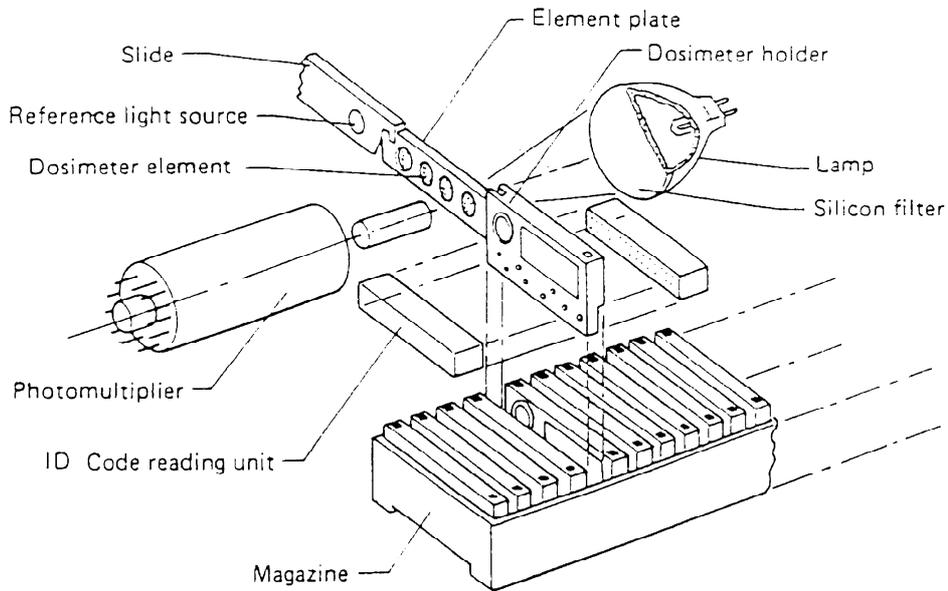
Dans ces cristaux, sous l'effet des rayonnements, des électrons sont arrachés à la bande de valence et piégés dans la bande de conduction. Leur retour sur la bande de valence nécessite un apport d'énergie communiqué sous forme de chaleur.



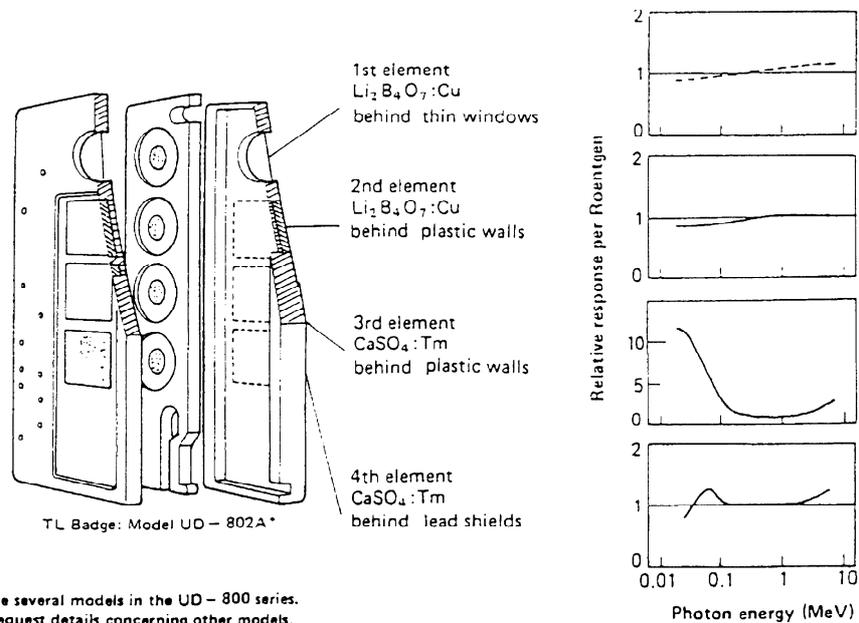
Le dosimètre est alors soumis à un traitement thermique dans un lecteur automatique, et l'énergie emmagasinée est réémise sous forme de rayonnement du type Ultra-Violet qui est mesuré dans l'appareil de lecture par un dispositif photométrique et les résultats sont convertis en équivalent de dose absorbée.

Après lecture, on "efface" le cristal en le maintenant à une température permettant la vidange des pièges les plus énergétiques. Le cristal est alors de nouveau opérationnel.

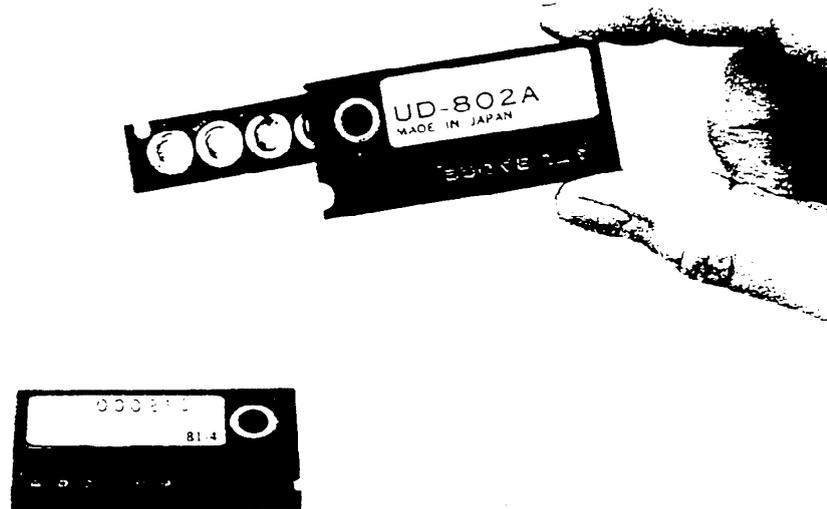
Reading method and construction



Construction of the model UD-802A, a typical TL badge, and the energy responses of each element.



TL Badge: Model UD-800 Series



2.2. Sensibilité

Le dosimètre est formé de

1 pastille de $\text{Li}_2 \text{B}_4 \text{O}_7$	sous $1,4 \text{ mgr/cm}^2$
1 pastille de $\text{Li}_2 \text{B}_4 \text{O}_7$	sous 340 mgr/cm^2
1 pastille de Ca SO_4	sous 340 mgr/cm^2
1 pastille de Ca SO_4	sous 1 gr/cm^2

- Discriminer en fonction de l'énergie
 - < 40 KeV
 - 40 à 100 KeV
 - > 100 KeV
- Distinction dose peau et dose en profondeur
- Sensibilité de $10 \mu\text{Sv}$.
- Mesure jusque 10 Sv

La précision du dosimètre film badge ou thermoluminescent est comparable

Chapitre 3 - CONDITIONS D'UTILISATION DU DOSIMÈTRE PERSONNEL

Les limites de doses imposées par la législation Belge, les directives Européennes et la Commission Internationale de Protection Radiologique distinguent les expositions

corps entier	(50 mSv/12 mois consécutifs glissants)
des extrémités	(500 mSv/12 mois consécutifs glissants)
des organes pris isolément	(en fonction du facteur de pondération)
du cristallin	(150 mSv/12 mois consécutifs glissants)
de l'abdomen	(8 mSv/2 mois consécutifs pour le personnel féminin en âge de procréer)

→ Le ou les dosimètres portés doivent être placés de manière à ce que les doses enregistrées soient représentatives des doses reçues par les organes irradiés.

Il faut ainsi au minimum un dosimètre placé au niveau poitrine et qui sera représentatif de la dose corps entier.

Quand on suspecte une irradiation importante au niveau des mains (radioscopie) il sera nécessaire de porter un second dosimètre au niveau des poignets ou des doigts.

Le problème au niveau du dosimètre poitrine est de savoir si le dosimètre doit être placé en dessous ou au dessus du tablier plombé

Quand le dosimètre est placé sous le tablier en plomb, il en résulte qu'une fraction de la dose résultant notamment de l'irradiation de la moelle non protégée (colonne cervicale), du cristallin et de la glande thyroïde serait négligée.

A l'inverse, le port du dosimètre à l'extérieur du tablier de plomb surestime fortement la dose reçue au corps et pourrait entraîner un dépassement de la limite de dose légale pour le travailleur avec toutes les conséquences administratives que cela comporte.

1. Dose au corps sous le tablier de plomb

Le tablier plombé absorbe une partie importante du rayonnement diffusé auquel le personnel est exposé. L'exposition au rayonnement direct étant exceptionnelle.

La fraction du rayonnement résiduelle sous le tablier sera fonction de la tension appliquée au tube et de la valeur de l'équivalent plomb du tablier.

Ces valeurs, déduites de la norme NBN 400.5 (2) ont été reprises dans le tableau ci-après.

Tableau 1 - Fraction du rayonnement sous le tablier - en % - cas du rayonnement diffusé

kV mm Pb	70	80	90	100	125	150
0,2	3	6,5	12	19	26	30
0,25	1,7	4,5	8	13	17	19
0,3	1,3	3	6	9	12	14
0,35	0,9	2	4	6	8	9
0,5	0,3	1	2	3	4,5	5

On observe que la dose lue sur le dosimètre porté à la poitrine sous le tablier plombé c'est-à-dire la dose reçue au niveau du corps ne représente qu'une fraction de la dose qui serait lue sur le dosimètre porté en dehors du tablier.

Cette fraction varie de façon importante en fonction des conditions de travail.

Pour des salles de radiologie conventionnelle, tension de 80 à 100 kV et un tablier de 0,25 mm équivalence plomb, la dose sous le tablier représenterait 4,5 à 13 % de la dose hors tablier.

En pratique, des valeurs voisines de 5 % ont été relevées lors de contrôle sur des installations en fonctionnement.

On considère généralement que la dose lue sous le tablier est représentative de la dose reçue par le corps entier et correspond à la dose efficace reçue par le travailleur. Cette dose ne peut excéder la limite de dose imposée par la réglementation pour les travailleurs professionnellement exposés.

2. Dose résultant de l'exposition hors tablier

La partie du corps directement exposé hors du tablier comprend le crâne, le cou et les membres supérieurs (humérus et très partiellement les clavicules).

Les tissus sensibles sont la moelle rouge, la thyroïde et le cristallin.

La fraction de moelle rouge contenue dans cette partie de l'organisme est indiquée dans le tableau II extrait du tableau 31.3 - ICRP 23 (3)

Tableau 2 - Distribution de la moelle rouge

	cou inclus %	cou exclu %
Crâne	13,1	13,1
Membres supérieurs		
· Humérus	2	2
Vertèbres cervicales	3,4	-
	-----	-----
S/total	18,5	15,1

La fraction de la moelle contenue dans les organes directement irradiés représente 15,1 % du total de la moelle (cou exclu) ou 18,5 % (cou inclus).

→ Le facteur de pondération (WT) pour la moelle est $WT = 0,12$. (4)

Il en résulte que la fraction de la dose efficace reçue dans la moelle au niveau de la tête et du cou représente 2,2 % de la dose efficace reçue par le corps entier sans tablier de protection.

→ Le facteur de pondération pour la thyroïde est $WT = 0,03$ (4)

La contribution à la dose efficace pour la thyroïde est de 3 %.

Au total, la dose efficace pour l'irradiation de la moelle et la thyroïde représente 5,2 % de la dose que recevrait la personne sans tablier.

Dans le cas où la personne porte une collerette plombée, la dose efficace reçue au niveau de la tête ne représenterait plus que 1,8 % de la dose susceptible d'être reçue au corps entier sans tablier.

Chapitre 4 - RELEVÉ DE DOSES ET ÉVOLUTION

1. Le secteur médical par rapport aux autres secteurs

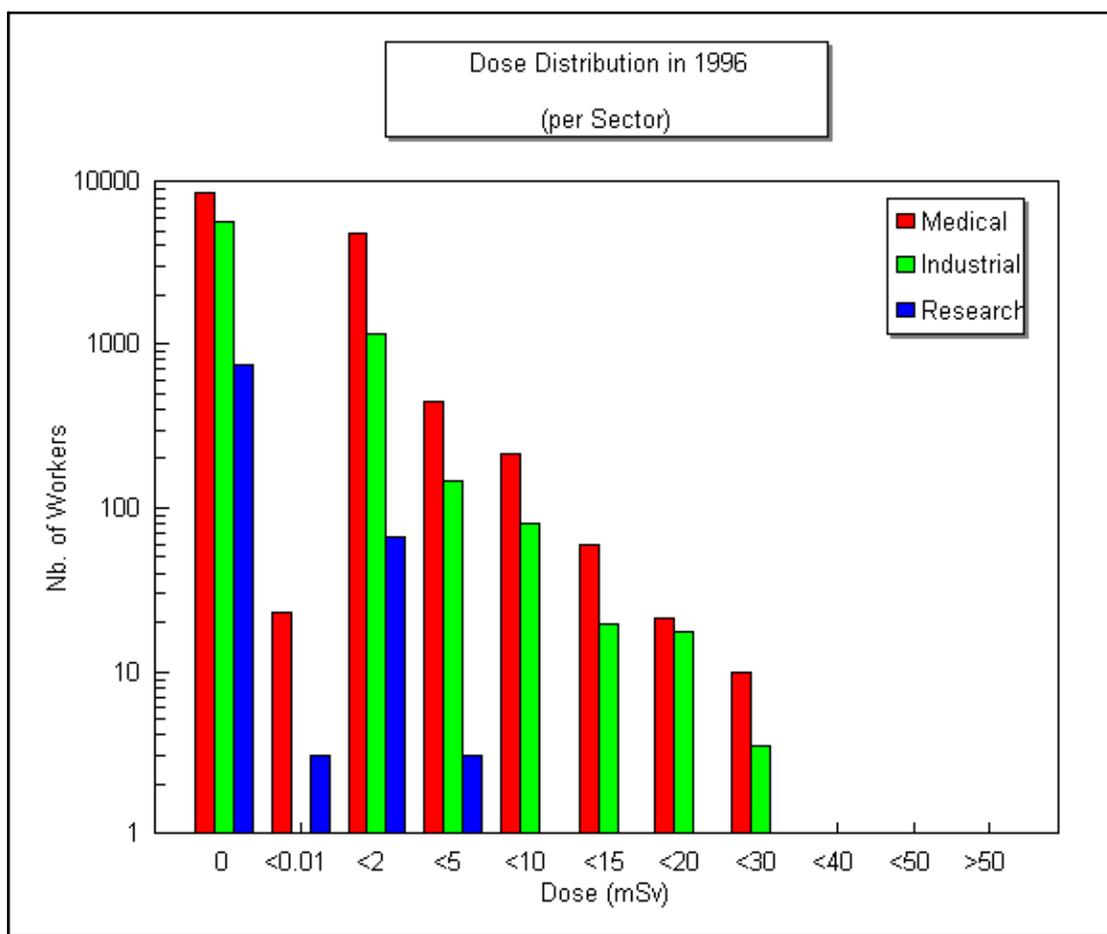
- En 1996, AV CONTROALTOM a distribué **22.308** dosimètres par mois (hors centrale nucléaire) dont **14.312** en milieu médical soit 64 %.
- Le % de dose nulle est de
 - 60 % en milieu médical
 - 80 % en industrie
 - 91 % en recherche
 - 68 % au total
- Plus de 99 % des personnes ont reçu une dose inférieure à 20 mSv que ce soit en milieu médical ou industriel.
Personne n'a dépassé une dose supérieure à 40 mSv.
- Dans le milieu médical 10.825 dosimètres sur 14.312 soit **75 %** sont attribués au Diagnostic
 - 60 % ont reçu une dose nulle
 - 99,5 % ont reçu une dose < 20 mSv
 - 0 % ont reçu une dose > 40 mSv.
- **Tableau 3** - Evolution du % de dose zéro.

Année	Tous secteurs	Secteur Médical	Secteur Industriel
1992	56	48	75
1993	65	57	83
1994	63	54	79
1995	62	54	78
1996	68	60	80

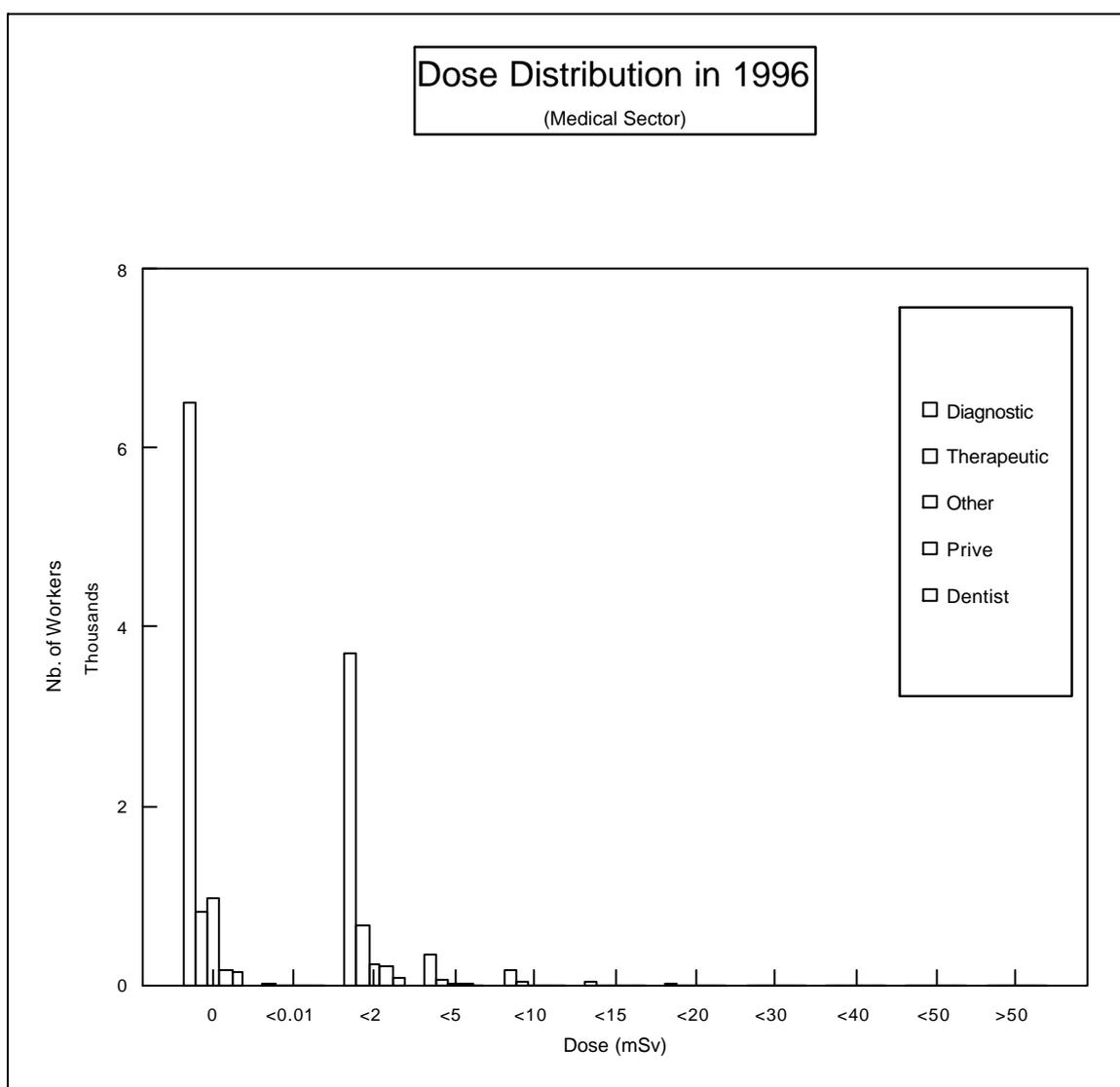
Conclusion

C'est dans le secteur médical que le nombre de travailleurs professionnellement exposé est le plus important (dont 75 % en diagnostic) et c'est également dans ce secteur que les doses reçues sont les plus importantes sans toutefois dépasser les normes et en observant que plus de 99 % restent inférieurs à 20 mSv/an.

Dose (mSv)	Medical	Industrial	Research	Total
0	8631	5750	747	15128
< 0.01	23	1	3	27
< 2	4910	1161	66	6137
< 5	443	144	3	590
< 10	214	81	0	295
< 15	59	20	0	79
< 20	21	17	0	38
< 30	10	3	0	13
< 40	1	0	0	1
< 50	0	0	0	0
> 50	0	0	0	0
Total	14312	7177	819	22308



Dose (mSv)	Diagnostic	Therapeutic	Other	Prive	Dentist	Total
0	6506	819	988	174	144	8631
< 0.01	20	0	2	0	1	23
< 2	3707	664	242	220	77	4910
< 5	344	60	15	24	0	443
< 10	166	34	10	4	0	214
< 15	52	5	1	1	0	59
< 20	20	1	0	0	0	21
< 30	9	1	0	0	0	10
< 40	1	0	0	0	0	1
< 50	0	0	0	0	0	0
> 50	0	0	0	0	0	0
Total	10825	1584	1258	423	222	14312



2. Les doses reçues par le personnel en 1995 dans les grands hôpitaux Bruxellois

En nous limitant à certains grands hôpitaux Bruxellois (6) - (7) - (8) - (9); c'est-à-dire par ordre alphabétique et non présentés chronologiquement dans les tableaux suivant:

Bordet
Brugmann
Erasme
Reine Fabiola
St Luc
St Pierre

Nous avons relevé (voir tableau en annexe).

→ Une dose <u>max.</u> en profondeur qui varie de	1.270 à 12.460 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
Une dose max. peau qui varie de	1.540 à 15.700 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
Une dose max. extrémité qui varie de	7.320 à 70.500 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
→ Une dose <u>moyenne</u> en profondeur qui varie de	250 à 540 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
Une dose moyenne peau qui varie de	400 à 700 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
Une dose moyenne extrémité qui varie de	6.600 à 15.000 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
→ Un % de dose Zéro qui varie de	35 à 63 %

→ La dose totale en homme mSv
= Dose Efficace collective varie de **8 à 217 mSv**

Cette dose est fonction des doses reçues par travailleur et du nombre total de travailleur.

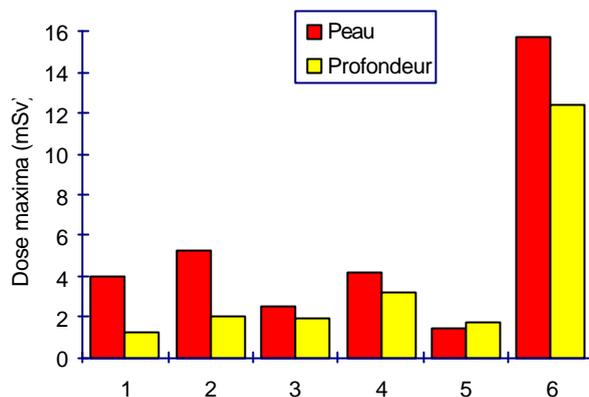
Grands Hôpitaux Bruxellois - Dose en Diagnostic RX en μ Sv - 1995

Institutions	1	2	3	4	5	6
Paramètres						
Nombre de personnes	45	114	55	54	21	451
Dose max. profondeur	1.270	2.000	1.900	3.230	1.700	12.460
Dose max. peau	4.000	5.300	2.500	4.200	1.540	15.700
Dose max. extrémité	-	35.500	70.500	7.320	26.000	29.510
Dose moyenne profondeur	250	260	435	540	380	480
Dose moyenne peau	480	465	570	700	400	560
Dose moyenne extrémité	-	6.600	15.000	-	7.300	9.200
% de zéro - Dose profondeur	55	63	35	45	52	40
% de zéro - Dose peau	55	63	35	45	52	37
% de zéro - Dose extrémité	-	20	10	-	15	-
Dose totale - homme mSv (profondeur) Dose efficace collective	11,25	29,65	23,96	29,16	8	216,98
Dose moyenne en profondeur sans zéro	555 μ Sv	963 μ Sv	669 μ Sv	982 μ Sv	792 μ Sv	800 μ Sv

Grands Hôpitaux Bruxellois

Dose en diagnostic RX

Dose maxima relevée



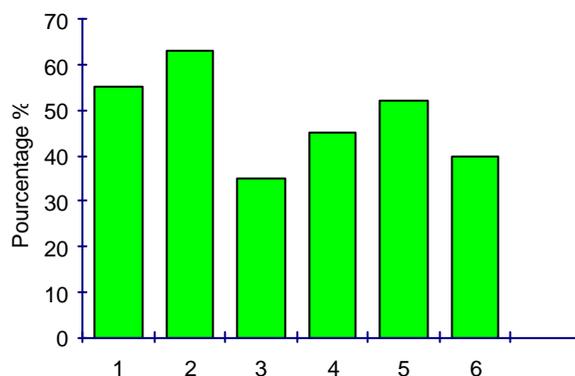
Max. relevé 12,46 mSv en profondeur

15,70 mSv à la peau

Grands Hôpitaux Bruxellois

Dose en diagnostic RX

% de Zéro profondeur + peau



Nombre total de personnes : 740 p.

Personnes avec zéro : 331 p.

% moyen de zéro : 45 %

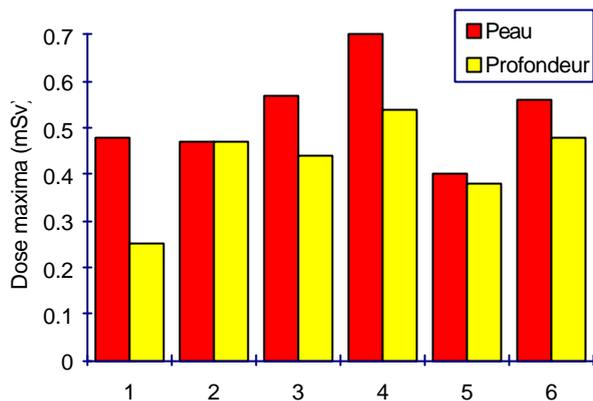
=

1995

Grands Hôpitaux Bruxellois

Dose en diagnostic RX

Dose moyenne relevée

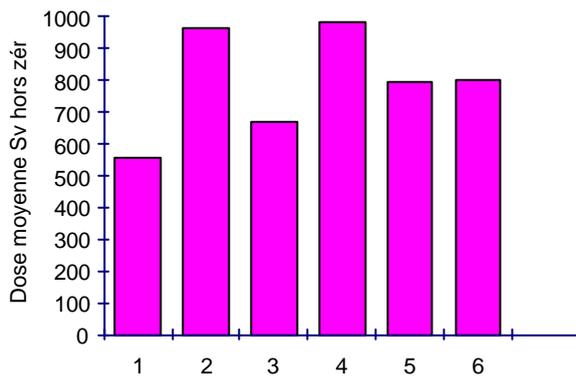


1995

Grands Hôpitaux Bruxellois

Dose en diagnostic RX

Dose moyenne par personnel hors zéro



=

Qu'en conclure

→ Une dose maxima reçue durant une année ne peut pas être comparée d'une institution à l'autre car il suffit d'un individu pour fausser la comparaison.

Cependant sur un total de 740 personnes le maximum relevé est de :

12,46 mSv en dose profondeur soit	25 %	des normes actuelles
15,70 mSv en dose peau soit	3 %	des normes actuelles
70,5 mSv en dose extrémité soit	14 %	des normes actuelles

→ Par contre le % de zéro est très comparable d'une institution à l'autre et est du même ordre de grandeur ($\pm 50\%$) que pour les 10.557 dosimètres distribués par AVC.

→ De même la dose moyenne (zéro compris) est très voisine d'une institution à l'autre et reste faible par rapport aux normes actuelles

en dose profondeur	1 %	de la D.M.A.
en dose peau	< 1 %	de la D.M.A.
en dose extrémité	3 %	de la D.M.A.

→ Si on considère la dose efficace collective exprimée en homme mSv, elle variera en fonction évidemment du nombre total d'individu des institutions. Cette grandeur ne peut être comparée d'une institution à l'autre étant donné les variations importantes du nombre d'individus entre les institutions. Par contre cette grandeur est très intéressante si l'on veut comparer la dose totale reçue par l'ensemble des individus (= constante) dans une même institution et d'année en année.

Ceci sera explicité par un exemple dans une rubrique suivante.

→ Il est également intéressant de comparer la dose moyenne (hors zéro) pour les différentes institutions. Celle-ci sera également très voisine d'une institution à l'autre et varie de 555 μ Sv à 963 μ Sv/an.

Ceci nous amène à une réflexion : *Si les doses moyennes zéro compris et hors zéro, sont comparables d'une institution à l'autre, ceci veut dire que les dosimètres ne sont pas distribués inutilement (de manière à diminuer les doses moyennes zéro compris).*

Il semble également logique de conclure que si les doses moyennes sont comparables par individu, elles sont le reflet des doses reçues en fonction du nombre d'actes médicaux.

=

3. La répartition des doses suivant les services

En choisissant l'institution la plus importante en nombre de travailleurs professionnellement exposés, 451 personnes en radiologie dont :

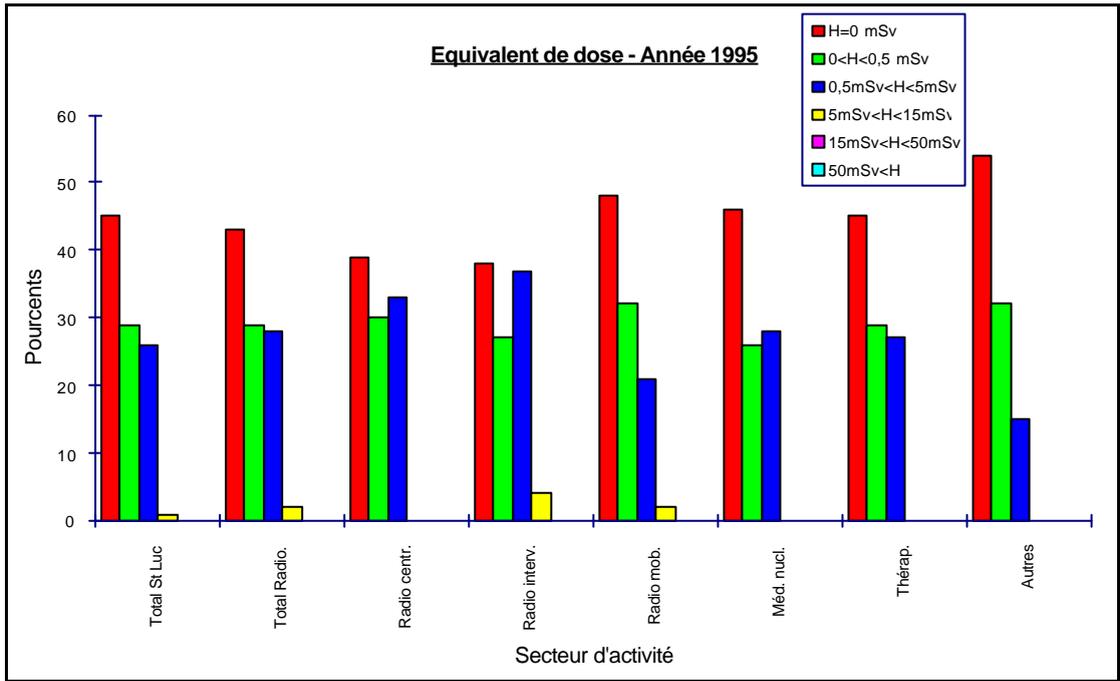
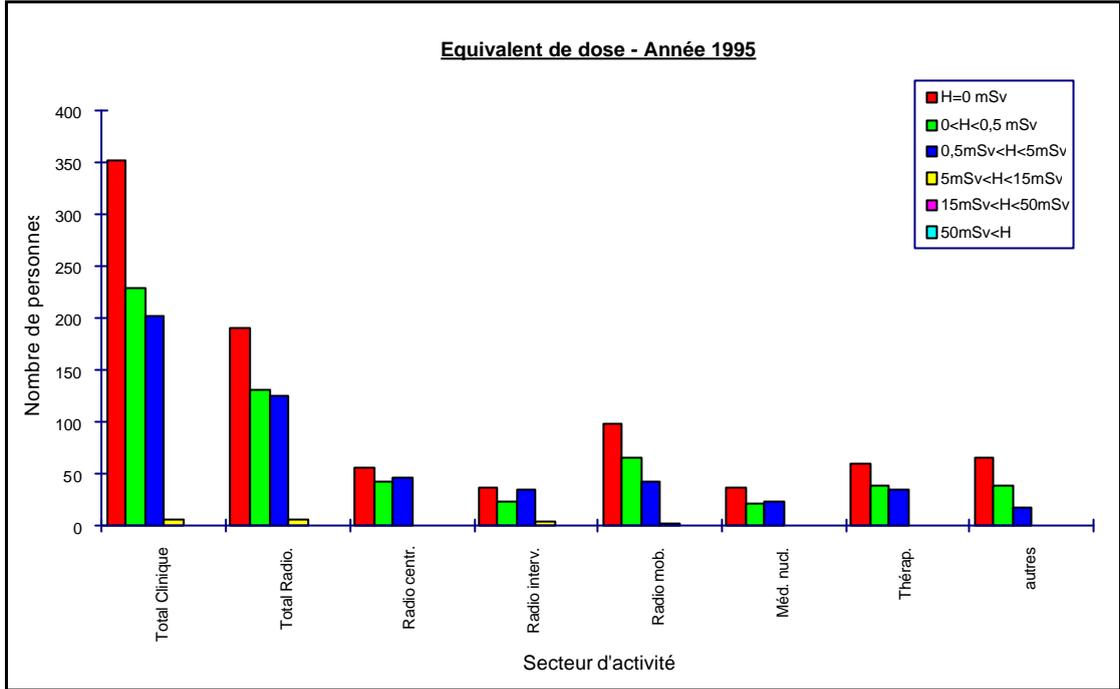
146 personnes en radiographie centrale (thorax, orthopédie, urologie, pédiatrie)
97 personnes en radio d'intervention (cathétérisme, coronarographie, gastro)
208 personnes en radio mobile (salle d'opération et lits).

On s'aperçoit que :

- le personnel en radio représente 57 % du personnel total clinique,
- le % de zéro est ± identique par service et est de l'ordre de 50 %
- aucune personne n'a reçu une dose > 15 mSv
- 446 personnes/ 451 (99,9 %) ont reçu une dose < 5 mSv (dose population).
- les 5 personnes ayant reçu une dose comprise entre 5 et 15 mSv est du personnel s'approchant des tubes RX.

nbr personnes	H=0 mSv	0<H<0,5 mSv	0,5mSv≤H<5mSv	5mSv≤H<15mSv	15mSv≤H<50mSv	50mSv≤H
Total Clinique	351	228	201	5	0	0
Total Radio.	190	131	125	5	0	0
Radio centr.	56	43	47	0	0	0
Radio interv.	36	23	35	3	0	0
Radio mob.	98	65	43	2	0	0
Méd. Nucl.	37	21	23	0	0	0
Thérap.	59	38	35	0	0	0
Autres	65	38	18	0	0	0

Limite d'équivalent de dose légal en Belgique H=50mSv par 12 mois glissants



=

4. La répartition des doses en dessous et au dessus du tablier

De nombreuses études (par exemple 10.11.12) ont déjà montré la nécessité de porter un tablier plombé ou des protections localisées (gants, lunette, collier). Nous avons pour notre part choisi deux institutions et déterminé les doses thyroïde et cristallin sans protection localisée.

Des dosimètres ont été placés en dessous du tablier et au dessus du tablier au niveau du cou.

La dose cou peut être assimilée à la dose reçue par la thyroïde ou le cristallin.

Dans la première institution (Institution n° 2) les examens pratiqués étaient de l'endoscopie ou de la coronarographie ou endoscopie.

Les mesures ont été contrôlées par le service de sécurité de l'hôpital et durant des temps d'expositions indiqués (de quelques heures à quelques dizaines d'heures).

Après lecture des dosimètres et doses déterminées pour le temps d'exposition renseigné, une extrapolation de dose susceptible d'être reçue par année a été calculée.

En fonction de ces doses calculées, le % de la dose susceptible d'être reçue à la thyroïde et au cristallin en fonction de la dose maxima admissible a été déterminée.

Ce % vaut en 1993 une moyenne de
et de

5,8 %	pour la thyroïde
19 %	pour le cristallin

Ce % vaut en 1995 une moyenne de
et de

4,5 %	pour la thyroïde
15 %	pour le cristallin

Dans la seconde institution (Institution n° 6) les examens pratiqués étaient en cardiologie également de l'endoscopie, coronarographie ou endoscopie.

D'autres dosimètres ont été portés en radio centrale et en pédiatrie.

Les doses renseignées sont des doses relevées par année sur les dosimètres.

Pour la cardiologie, les % de la dose lue par rapport aux doses maxima admissible sont :

de	6 %	pour la thyroïde
De	20 %	pour le cristallin

→ C'est à dire des doses très comparables d'une institution à l'autre.

=

Ces doses restent bien inférieures aux normes actuelles mais les résultats prouvent la nécessité de porter ce second dosimètre au dessus du tablier dans le cas des examens particuliers d'endoscopie, coronarographie, cathétérisme.

Si des protections localisées ne sont pas placées il nous semble nécessaire de prendre en compte cette fraction d'irradiation locale afin de déterminer la dose efficace suivant la formule (5)

$$\text{Dose efficace} = \text{Dose en dessous} + \frac{\text{Dose au dessus tablier}}{10}$$

Ceci afin d'éviter d'attribuer des doses zéro alors qu'une partie du corps de l'individu a subi une dose.

Ainsi dans l'institution n° 2 la dose zéro renseigné dans les tableaux d'irradiation deviendrait : (en μSv)

4125 pour le technicien D1

1659 pour le technicien A2

1890 pour le technicien B2

1150 pour le technicien D2

Ces doses restent bien inférieures aux normes mais ont le mérite :

- a) d'avoir été prises en compte
- b) d'être portées à la connaissance du technicien qui psychologiquement ne peut pas admettre un zéro.

Dans la seconde institution on observe également que les doses thyroïde et cristallin pour le personnel de pédiatrie sont beaucoup plus faibles et sont dues à une hypersensibilité du personnel.

Doses Thyroïde / Doses Cristallin

Relevé annuel

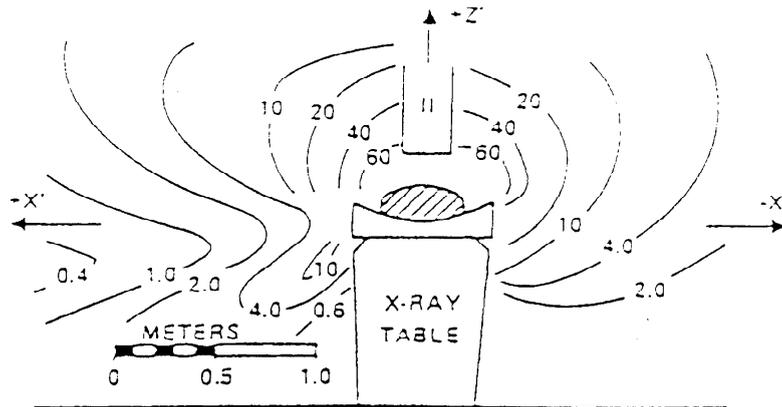
1994 - 1995

Noms	Dose (μ Sv) en dessous tablier	Dose (μ Sv) au dessus tablier	% Dose max.	
			Thyroïde (500.000)	Cristallin (150.000)
Cardiologie 1	2.590	19.090	6% {	13
2	9.570	21.410		4,3
3	3.850	26.100		5,2
4	270	54.470		10,9
				20% }
Radio centrale 1	1.560	5.310	1	3,5
2	4.590	6.450	1,3	4,3
Pédiatrie 1	230	1.710	0,3	1,4
2	100	6.410	1,3	4,3
3	160	1.140	0,2	0,8
4	0	2.430	0,5	1,6
5	290	8.620	1,7	5,7
6	590	6.740	1,4	4,5
7	0	1.980	0,4	1,3

Relevé sur les dosimètres.

=

La nécessité de porter une protection localisée ou la nécessité de porter un second dosimètre au niveau du cou (thyroïde ou cristallin) trouve également sa justification quand on sait que les débits de dose sont les plus importants au niveau de ces organes (voir schéma)



Débit de dose ($\times 10 \mu\text{Sv/h}$ ou mr/h) pendant une coronarographie
Champ $10 \times 10 \text{ cm}$
Dose $1,95 \text{ cGy/min. (R/min.)}$

=

5. Quelques "incidents" et leurs causes

Terminons enfin par relever quelques dépassements de dose.

Dose sur 1 mois μSv		Causes
10.290	→	Test volontaire d'irradiation
38.650	→	Dosimètre au dessus tablier
11.300	→	Dosimètre conservé pendant examen radio
12.390	→	Ne porte pas le tablier
10.780	→	Dosimètre au dessus tablier
6.420	→	Ne porte pas le tablier
7.200	→	Dosimètre au dessus tablier
5.490	→	Dosimètre au dessus tablier
7.320	→	Ne porte pas le tablier
5.630	→	Ne porte pas le tablier
5.100	→	Ne porte pas le tablier

Dès qu'une dose supérieure à 4000 $\mu\text{Sv}/\text{mois}$ est relevée, une enquête se fait obligatoirement sur place (afin d'éviter un renouvellement).

Dans 90 % des cas une explications sera fournie par le technicien et à fortiori si un climat de confiance s'est établi avec le service de sécurité et de radioprotection.

Il faut admettre que souvent la cause est soit le dosimètre unique placé au dessus du tablier soit que le technicien ne porte pas le tablier.

Il faut surtout constater qu'après sensibilisation (port du tablier) et/ou un second dosimètre fourni, un renouvellement ne s'opère presque jamais.

=

CONCLUSIONS

C'est en milieu médical que l'on retrouve le plus de personnel professionnellement exposé (68 %) aux radiations ionisantes et le diagnostic y occupe 75 % de ce personnel.

Il y a donc une nécessité de disposer d'une dosimétrie efficace au moyen de dosimètres fiables et aussi d'un suivi dosimétrique par la médecine du travail et par les services de sécurité afin que certaines conditions de travail puissent être modifiées dans certains cas en fonction des doses reçues.

Ces doses peuvent être très faibles puisque 50 % du personnel reçoit zéro, ou faibles puisque 99 % restent inférieurs à 20 mSv/an et que sur les 740 personnes réparties dans des grands hôpitaux Bruxellois, le maximum de dose enregistrée est à 25 % de la dose max. actuellement admise au niveau du corps entier.

Mais il s'agit de ne pas oublier que dire à un technicien qu'il reçoit zéro est une bonne chose et que ce n'est pas parce qu'il est professionnellement exposé qu'il doit recevoir une dose.

Il faut également sensibiliser le personnel à des attitudes correctes à acquérir ou à garder, par exemple en travaillant avec un tablier plombé ou certaines protections localisées dans le cas d'examens spécifiques (radio d'intervention) ou lorsqu'il faut maintenir les patients (pédiatrie) et de porter deux dosimètres (l'un au dessus, l'autre en dessous du tablier) afin de pouvoir comptabiliser une dose efficace en fonction des doses reçues par les parties protégées ou pas.

Le personnel qui ainsi aura compris que la radioprotection est organisée pour lui et pas exclusivement dans un cadre légal, sera sensibilisé et adoptera les attitudes conseillées et requises.

Aujourd'hui, avec cette sensibilisation et les moyens de protection mis en oeuvre, on doit arriver à diminuer les doses et/ou à les garder en dessous des seuils présentés.

=

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Arrêté Royal du 28 février 1963 portant règlement général de la radioprotection et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes et modifié le 16 janvier 1987
- (2) Norme Belge NBN 400.5 - Institut Belge de normalisation.
- (3) International Commission on Radiological Protection
Recommandation of the International Commission on Radiological Protection
ICRP Publication 23.
- (4) International Commission on Radiological Protection
Recommandation of the International Commission on Radiological Protection
ICRP Publication 60.
- (5) A. Wambersie and J. Delhove - Radiation Protection in diagnostic Radiology.
A debated Practice : How to wear the Individual Dosemeters ?
- (6) Résultats dosimétriques auprès de l'organisme agréé AV CONTROLATOM.
- (7) Résultats dosimétriques communiqués par M. L. Bette du service de sécurité de l'Université Libre de Bruxelles.
- (8) Résultats dosimétriques communiqués par M. C. Woiche du service de sécurité de l'Hôpital Erasme.
- (9) Résultats dosimétriques communiqués par M. J. Caussin du service de sécurité de l'Université Catholique de Louvain-en-Woluwe.
- (10) Balter and al - Radiation Exposure to the operator Performing Cardiac Angiography with U-Arm Systems. Circulation vol 58 n° 5 - november 1978.
- (11) Eduard and al - Improved Radiation Protection for Physicans Performing Cardiac Catheterization - The American Journal of Cardiology - vol. 50 - december 1982.
- (12) L. Renard A 5Y Follow-up of the radiation exposure to in-room personnel during cardiac catheterization. Health Physics - January 1992 - vol. 62 nr 1.

=

Remerciements

Tous mes remerciements à Monsieur L. Bette du service de sécurité de l'ULB, à Monsieur J. Caussin du service de sécurité de l'UCL et à Monsieur C. Woiche du service de sécurité de l'Hôpital Erasme pour les différents résultats dosimétriques communiqués.

Tous mes remerciements également pour leur aide compétente à Messieurs C. Hunin, C. Mambour et J. Van Cauteren, experts auprès de l'organisme agréé AV CONTROLATOM.

—

Résumé

Après avoir rappelé l'aspect légal de la dosimétrie et les types de dosimètres employés (films badges, thermoluminescents), les conditions d'utilisation du dosimètre personnel sont examinées et les doses au corps sous tablier de plomb et en dehors du tablier sont données.

Dans le cas du port de plusieurs dosimètres, en précisant l'endroit où chacun est porté, il est possible de calculer la dose efficace.

Enfin, l'auteur donne un relevé de doses et l'évolution en séparant le secteur médical des autres secteurs. Il donne les doses reçues par le personnel en 1995 dans les grands hôpitaux bruxellois, la répartition des doses suivant les services et suivant que le dosimètre est porté en dessous ou au dessus du tablier.

—

Samenvatting

Na het wettelijk aspect van de stralendosimetrie herhaald te hebben, alsook de gebruikte dosimeters (film badges, thermoluminescenten), worden de kenmerken van het gebruik van de persoonlijke dosimeter onderzocht en de dosissen met of zonder loodschoort weergegeven. In geval meerdere dosimeters gedragen worden, worden bij nauwkeurige bepaling de efficiënte dosis bepaald. Ten slotte geeft de auteur een herhaling van de dosissen ontvangen door het personeel van de grote ziekenhuizen in Brussel, in 1995, de verdeling van de dosissen volgens de diensten en naargelang de dosimeter boven of onder de schoort gedragen wordt.

Abstract

After recalling the legal aspects of radiation dosimetry and the types of dosimeters (film badges, thermoluminescent), the conditions of utilisation of the personal dosimeter are examined and given under and above the lead apron. In case of bearing several dosimeters and precisising their location, it is possible to calculate the effective dosis. In fine the author gives a survey of the doses and their evolution separating the medical from the others. He gives the dosis received by the personal in the main Brussels hospitals in 1995, the repartition of doses among the departments and according whether the dosimeter is situated under or above the apron.

Radiothérapie externe et radiothérapie métabolique: prescriptions réglementaires et recommandations des publications 60 et 73 de la CIPR

Dr. Jean Pierre CULOT

Operational Projects and Inspection Department
AIB - Vinçotte Nucléaire, Avenue du Roi, 157, B-1190 Bruxelles

Résumé

Après avoir évoqué la réglementation actuelle et les limites de doses recommandées tant par la CIPR 60 que par la nouvelle réglementation européenne, les aspects pratiques de la surveillance de l'exposition dans le cadre des applications médicales des radiations ionisantes seront examinés. Après un rapide survol de l'exposition professionnelle dans le domaine médical, l'exposition médicale et la protection du patient seront étudiées dans le cadre des dernières publications 60 et 73 de la CIPR. Les principes de justification et d'optimisation seront évoqués ainsi que les expositions potentielles, en étudiant entre autres les accidents rencontrés en radiothérapie externe et/ou métabolique.

1- Préliminaire

Avant de parler de radioprotection, il est nécessaire de définir le niveau de dose d'irradiation qui nous concerne.

On peut distinguer trois niveaux de dose d'irradiation :

- les “**fortes doses**” : de quelques sieverts (Sv) à 60 - 70 Sv.

Les effets biologiques sont essentiellement déterministes. Il s'agit du domaine de la radiothérapie et des accidents graves d'irradiation;

- les “**faibles doses**” : de quelques dizaines de millisieverts (mSv) au sievert.

Elles se situent en dessous des doses-seuil pour les effets déterministes. Les effets sont ici probabilistes (ou stochastiques). Il s'agit du domaine de la radioprotection et de certains accidents ou incidents d'irradiation;

- les “**très faibles doses**” : quelques millisieverts.

Les effets sont stochastiques. C'est le domaine de l'irradiation naturelle et des limites d'exposition pour la population générale.

Par convention, le domaine d'application considéré en radioprotection est le domaine des doses inférieures à 200 mSv (0.2 Sv) et éventuellement des doses plus élevées si le débit de dose est inférieur à 0.1 Sv par heure.

2- La réglementation nucléaire en Belgique

L'essentiel des dispositions réglementaires concernant les applications médicales des radiations ionisantes est contenu dans un arrêté royal du 28 février 1963 publié au Moniteur Belge du 16 mai 1963. Il s'agit de l'arrêté royal portant "*Règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes*" que, pour simplifier, nous appellerons "le Règlement" dans la suite du texte.

Au cours des années, cet arrêté royal a été modifié et complété par d'autres arrêtés royaux, le dernier datant du 23 décembre 1993¹.

Les limites de dose y sont explicitées sur base des concepts développés dans la publication 26 de la *Commission Internationale de Protection Radiologique* (CIPR). Il s'agit de la trilogie devenue classique :

- la justification de l'utilisation des radiations ionisantes
- l'optimisation de la radioprotection
- le respect des limites de dose individuelles.

Cette réglementation couvre l'exposition du public et des travailleurs et, dans la mesure où la conception, la construction et la maintenance des équipements peuvent l'affecter, celle des patients. Les limites de dose (tableau 1) ne concernent évidemment pas ces derniers mais les deux principes de justification et d'optimisation leur sont applicables.

Tableau 1: Limites prescrites applicables en 1995		
	Personnes du public	Travailleurs professionnellement exposés
Corps entier	5 mSv	50 mSv
Partie du corps		
Cristallin	15 mSv	150 mSv
Peau	50 mSv	500 mSv
Mains, avant-bras, pieds, chevilles	50 mSv	500 mSv

Suite aux activités détenues ou manipulées, les installations de radiothérapie et de médecine nucléaire seront rangées en *classe II*. Le chef d'établissement doit créer un service de contrôle physique ou en confier les missions à un organisme agréé.

¹ Arrêté Royal du 28 février 1963 modifié par les arrêtés royaux du 17 mai 1966, 22 mai 1967, 23 décembre 1970, 23 mai 1972, 24 mai 1977, 12 mars 1984, 21 août 1985, 16 janvier 1987, 11 février 1987, 12 février 1991, 6 septembre 1991, 17 juin 1992, 7 septembre 1993, 23 décembre 1993.

Le Règlement donne un aperçu relativement détaillé des missions du service de contrôle physique. Parmi les plus importantes figurent l'examen et l'approbation des projets d'installations ou des expériences qui présentent un risque de contamination ou d'irradiation, la mesure des contaminations, des débits de dose ainsi que des doses reçues par le personnel, etc.

Le chef de contrôle physique donne des avis mais il ne dispose pas de l'autorité nécessaire à leur mise en pratique; c'est au chef d'entreprise que reviennent cette prérogative et la responsabilité associée.

L'organisme agréé évolue dans un cadre légal qui lui impose diverses missions orientées vers la protection des travailleurs et du public vis-à-vis des radiations ionisantes et, plus précisément, vers le contrôle de l'application du règlement.

A côté du service de contrôle physique d'établissements de classe II ou de classe III, les organismes agréés sont chargés de missions plus spécifiques, entre autres :

- en premier lieu, d'assurer le contrôle de la bonne exécution de la mission confiée au service de contrôle physique; ce contrôle est au moins trimestriel en classe II;
- de contrôler et d'approuver les décisions favorables du contrôle physique concernant des installations nouvelles présentant du danger;
- d'assurer la réception des nouvelles installations.

Cette réception porte sur:

- *le respect des dispositions du règlement*
- *la vérification des conditions particulières imposées par l'arrêté d'exploitation*
- *la vérification de la conformité des installations vis-à-vis de la description qui en est faite dans les documents ayant servi à l'introduction de la demande d'autorisation auprès des Autorités compétentes.*

On peut y associer aussi diverses expertises dans le domaine de la radioprotection. L'organisme agréé est alors à l'écoute des exploitants pour les conseiller et les informer sur l'évolution des normes publiées par les Autorités internationales compétentes.

Enfin on notera qu'il pourra, à la demande d'un fabricant ou d'un exportateur, instruire les dossiers relatifs à l'agrément d'un type d'appareil, à l'importation et au transport de sources radioactives.

Evolution de la réglementation

La loi du 15 avril 1994, publiée au Moniteur Belge le 29 juillet 1994, abroge la loi de 1958 ayant donné naissance au Règlement de 1963. Elle en élargit le champ d'application. A côté de son objectif primordial de création de l'**Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire**, elle va entraîner une révision substantielle des procédures d'autorisation, des modalités de contrôle physique et de l'intervention de l'organisme agréé. Cette loi entrera en vigueur au moment où les principaux arrêtés d'application seront publiés.

L'évolution des connaissances scientifiques en matière de radioprotection a amené le Conseil de l'Union Européenne à arrêter la Directive 96/29/EURATOM du 13 mai 1996 qui fixe les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant

des rayonnements ionisants que les Etats Membres ont l'obligation de transposer en droit national avant le 13 mai 2000, date à laquelle seront abrogées les Directives antérieures (80/836 et 84/467).

3- Les limites de dose recommandées par la CIPR 60

Les connaissances scientifiques sur les effets des radiations progressant, il est indispensable de revoir périodiquement leur incidence sur la réglementation en matière de radioprotection.

Suite à la publication du rapport de l'UNSCEAR de 1988, la Commission a choisi le principe de précaution conduisant à accepter l'existence d'un risque résiduel quel que soit le niveau de dose ajouté. Les méthodes de projection du risque ont été revues de même que les calculs dosimétriques. L'ensemble conduit à recommander les nouvelles normes de la publication 60 de la CIPR qui s'inscrivent dans un contexte général renouvelé par:

- de nouveaux concepts de pondération pour le calcul des doses efficaces,
- l'élargissement de la notion de détriment,
- un effort de clarification de la radioprotection pratique,
- etc.

Les experts de la CIPR se sont accordés à considérer que la relation dose/risque retenue comme référence dans les précédentes recommandations (ICRP 26) devait être modifiée dans le sens d'un accroissement des risques pour un même niveau de dose (d'un facteur 3) ce qui a conduit à diviser par 2,5 les limites de dose pour les travailleurs et par 5 pour le public. Les limites de dose (tableau 2) ne s'appliquent qu'aux pratiques; elles ne concernent ni les expositions médicales, ni les interventions.

Tableau 2: Recommandations de la CIPR 60 (dose annuelle)		
	Personnes du public	Travailleurs professionnellement exposés
Corps entier (moyenne)	1 mSv	20 mSv
Partie du corps		
Cristallin	15 mSv	150 mSv
Peau	50 mSv	500 mSv
Mains, avant-bras, pieds, chevilles	50 mSv	500 mSv

La prudence de la CIPR dans le choix de la relation linéaire dose-effet sans seuil (LN-T) dans le domaine de la radioprotection a encore été récemment examinée lors d'une étude demandée par l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (IPSN) au National Radiological Protection Board (NRPB):

“At the request of IPSN, the NRPB recently provided an updated review of the risk of radiation-induced cancer at low doses and low-dose rates. NRPB concluded that LN-T is the appropriate model to use for radiation protection purposes.

The objectives of radiation protection are to prevent deterministic effects and limit the risk of cancer and genetic effects ‘to a reasonable level in relation to societal needs, values, benefits gained and economic factors’. Use of LN-T as the basis for a system of radioprotection doesn’t mean that all radiation exposure must be avoided. The system of protection provides limits that may result in an average risk of fatal cancer that is comparable to the risk of death within safe industries, i.e. risk is consistent with benefit.

As health physicists we should focus our debate on the application of LN-T to our system of protection, on a safe level of exposure, and on the acceptable cost of controls. Such a discussion is valuable and necessary to establish an appropriate level of protection.”

(Richard J. Vetter, Mayo Clinic, Rochester, MN in Radiological Protection Bulletin, NRPB, February 1996)

En juin 91, le Service de Protection contre les Radiations Ionisantes (SPRI/DBIS) attirait l’attention sur une traduction rapide des récentes recommandations de la CIPR (Publication 60) dans les directives destinées aux Etats-Membres : ce qui signifie que la réglementation nationale devrait alors être adaptée. Il était dès lors souhaitable de se fixer des objectifs de conception, pour des installations à construire dans les prochaines années et destinées à fonctionner au-delà de la décennie, qui soient en accord avec les recommandations les plus récentes de la CIPR.

4- Applications médicales des radiations ionisantes

Les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) conduisent à adopter des limites annuelles d’exposition tant pour les travailleurs professionnellement exposés que pour les personnes du public mais également à améliorer la protection par l’application des concepts de justification et d’optimisation. On est ainsi amené à définir diverses notions telles que : seuil d’intervention, contrainte de dose, niveau de référence et à examiner la conception, l’aménagement et l’équipement des locaux en vue d’assurer la radioprotection du personnel et du public.

4-1 Cadre légal actuel

La détention et l’utilisation de sources de radiations ionisantes à des fins médicales sont réglementées par les articles 50 à 55 du règlement général de 1963, amendé par de nombreux arrêtés. L’article 50 en précise le champ d’application.

Sont notamment concernés (art. 50.2) :

- les appareils destinés au diagnostic: radioscopie, radiographie, radiographie dentaire
- les appareils destinés à la thérapeutique: radiothérapie, curiethérapie, gammathérapie, thérapie par les accélérateurs de particules
- les radionucléides utilisés comme tels: sous forme non scellée dans un but de diagnostic ou un but de thérapeutique, sous forme scellée dans un but de thérapeutique (grains et fils destinés à la thérapeutique interstitielle, aiguilles et plaques).

Dans l'exposé qui suit nous nous limiterons essentiellement aux appareils destinés à la radiothérapie externe et aux radionucléides utilisés sous forme non scellée en radiothérapie métabolique.

L'article 51 précise que les appareils précités sont d'un type approuvé par le Ministère de la Santé Publique. Le producteur ou l'importateur introduit la demande d'approbation sur un formulaire établi par l'Administration de l'Hygiène publique.

L'organisme agréé peut, à la demande des parties concernées, faire les constatations utiles pour introduire le dossier de demande d'approbation. A l'heure actuelle le seul formulaire type existant concerne les appareils destinés au radiodiagnostic. Pour les appareils destinés à la thérapeutique on pourra d'une part vérifier la conformité vis-à-vis des spécifications techniques du constructeur et, d'autre part, en vérifier la conformité vis-à-vis des recommandations de l'ICRP contenues dans la publication 44 "Protection of the Patient in Radiation Therapy."

L'utilisation des radionucléides sous forme non scellée est réglementée par les articles 45 à 49. Ils concernent l'importation, la fabrication, la préparation et la vente des radionucléides utilisés sous forme non scellée en médecine humaine ou vétérinaire :

- l'autorisation préalable;
- l'enregistrement éventuel s'il s'agit d'un médicament;
- le contrôle de conformité et de qualité par un pharmacien agréé (art. 47);
- l'étiquetage des récipients.

L'article 52 fournit les dispositions générales concernant les établissements et les locaux

- l'établissement est dûment autorisé;
- l'aménagement des locaux répond aux conditions suivantes :
 - la dose à la surface extérieure des locaux n'excède pas 0.1 mSv par semaine, ce qui correspond à une dose annuelle de 5 mSv (dose limite prescrite pour le public),
 - les locaux doivent pouvoir être fermés à clé,
 - le symbole de la radioactivité est apposé sur la porte;
 - les mesures sont prises pour éviter toute exposition inutile du personnel et du patient.

L'article 53 définit la qualification des utilisateurs qui doivent être autorisés à cet effet par le Ministre qui a la Santé Publique dans ses attributions.

L'article 54 indique les dispositions particulières complémentaires pour les appareils définis à l'article 50.2.

En ce qui concerne les appareils destinés à la radiothérapie (art. 54.5), ces dispositions concernent:

- l'aménagement des locaux
 - les cabines de déshabillage se trouvent en dehors de la salle où fonctionne l'appareil;
 - les tableaux de commande sont placés en dehors du local de traitement;

- un dispositif d'observation direct ou indirect du patient est prévu;
- le fonctionnement est assuré sous la surveillance permanente du personnel préposé aux applications des rayonnements;
- l'installation elle-même
 - moyen d'appel mis à la disposition du patient;
 - minuterie de contrôle de la durée d'exposition;
 - mesure de la dose débitée par unité de temps;
 - si plusieurs appareils sont installés dans le même local, un dispositif empêche la mise en service de plus d'un appareil à la fois;
- l'utilisateur est officiellement reconnu comme spécialiste en radiothérapie.

Les appareils de télégamma-thérapie (art. 54.6) sont en outre conçus pour éviter en toute circonstance la libération incontrôlée ou la dispersion de la source radioactive. Un dispositif permet de se rendre compte, à tout moment, à partir du tableau de commande, de la position de la source radioactive et, le cas échéant, des obturateurs.

En ce qui concerne les appareils accélérateurs de particules (art. 54.7), la radioactivité éventuellement induite est surveillée et l'utilisateur dispose de l'assistance d'une personne capable de traiter les problèmes de physique posés par l'entretien et la surveillance des appareils.

La détention et l'utilisation des radionucléides destinés au diagnostic *in vivo* ou *in vitro* ou à la thérapie dans le cadre de la médecine nucléaire sont plus particulièrement réglementées par l'article 54.8 :

- elles font l'objet d'une autorisation spéciale qui vise la nature et la quantité des radionucléides détenus et utilisés, les endroits et locaux de détention et les formes d'application;
- la compétence du demandeur fait l'objet d'un avis du jury médical, tant pour les médecins que pour les pharmaciens et les licenciés en sciences spécialisés en biologie clinique;
- les locaux où sont utilisés et détenus les radionucléides:
 - sont uniquement réservés à cet usage
 - disposent d'un emplacement d'entreposage qui permet une protection efficace contre l'exposition, la dispersion éventuelle des substances radioactives et le vol;
 - sont aménagés suivant les règles de bonne pratique : murs, sols et surfaces lisses, imperméables et aisément décontaminables.

En cas de détention et d'utilisation de sources non scellées, les locaux comportent :

- les moyens appropriés pour recueillir rapidement les substances radioactives qui viendraient à se disperser;
- les moyens de recueillir et d'entreposer, sans entraîner de risques d'exposition, les déchets radioactifs liquides ou solides pendant le temps nécessaire pour les rendre inoffensifs ou avant de les évacuer vers une installation de traitement;

- les moyens de prévenir la contamination de l'atmosphère.

La personne autorisée à détenir et utiliser des radionucléides à des fins médicales a des obligations de protection et de surveillance :

- elle dispose des appareils nécessaires pour apprécier la nature des rayonnements émis, pour procéder à leur mesure ainsi que pour assurer le respect des règles de protection;
- elle dispose éventuellement de moyens de manipulation à distance;
- elle dispose d'un inventaire permanent des sources et de leurs mouvements;
- elle prend, dans le cas des applications thérapeutiques, les dispositions nécessaires pour éviter que les patients porteurs de radionucléides puissent constituer un risque significatif d'exposition pour les autres malades, pour le personnel et le public. Elle recourt en cas de nécessité à des dispositions appropriées d'hospitalisation;
- elle surveille l'intégrité des sources scellées utilisées pour la curiethérapie. En outre, les aiguilles et plaques contenant des substances radioactives sont contrôlées au moins une fois par an par les services de contrôle physique ou l'organisme agréé.

4-2 Formation

L'A.R. du 7 septembre 1993, publié au M.B. du 15.10.93 modifie le règlement de 1963 pour tenir compte d'une directive des Communautés européennes (84/466) fixant les mesures fondamentales relatives à la protection radiologique des personnes soumises à des examens et traitements médicaux :

- le responsable d'un établissement comprenant des installations de radiologie, de radiothérapie ou de médecine nucléaire veille à disposer de l'assistance de spécialistes qualifiés en radiophysique pour l'organisation et la surveillance des mesures nécessaires pour assurer la radioprotection du patient et le contrôle de qualité des appareillages;
- les autorisations relatives aux applications médicales des radiations ionisantes ne sont délivrées qu'aux personnes ayant acquis une compétence en radioprotection et une formation adéquate et appropriée aux techniques appliquées en radiologie médicale ou dentaire, en radiothérapie ou en médecine nucléaire;
- les autorisations pour l'utilisation à des fins médicales des appareils destinés au diagnostic et des appareils destinés à la thérapeutique (radiothérapie, curiethérapie, gammathérapie, thérapie par les accélérateurs de particules) et pour la détention et l'utilisation de radionucléides dans le cadre de la radiothérapie sont délivrées en raison :
 - de la compétence du demandeur
 - de la nature et des conditions d'emploi des substances ou appareils qu'il est appelé à manipuler.

En ce qui concerne l'utilisation d'appareils destinés à la thérapeutique et la détention d'isotopes dans le cadre de la radiothérapie, l'autorisation n'est accordée qu'à des médecins spécialistes pouvant produire un diplôme, un certificat ou une attestation dont il ressort qu'ils ont suivi une formation de niveau universitaire comportant au moins 120 heures de théorie et 80 heures de pratique, portant sur :

- *la physique nucléaire*
- *les méthodes de mesure des rayonnements*
- *la radiochimie*
- *la radioprotection*
- *la législation de la radioprotection*
- *la radiotoxicologie*
- *la radiobiologie*
- *la dosimétrie en radiothérapie.*

4-3 Synthèse

La réglementation concerne :

- ***les sources de rayonnements ionisants;***
- ***les locaux dans lesquels elles sont mises en oeuvre ou détenues;***
- ***les moyens de protection du personnel, du public et de l'environnement;***
- ***la qualification du personnel médical : médecins, pharmaciens et licenciés spécialisés en biologie clinique, physicien d'hôpital.***

Le suivi de cette réglementation est effectué par le service de contrôle physique organisé par l'exploitant et certainement par l'organisme agréé.

L'exploitant est actuellement laissé libre au niveau du choix de l'organisme agréé auquel il peut aussi confier le contrôle physique s'il ne dispose pas d'un expert agréé en radioprotection.

Les Autorités compétentes exigent souvent que ce choix soit fait avant toute introduction de demande d'autorisation. L'exploitant peut ainsi bénéficier de l'expertise de l'organisme et les Autorités sont rassurées quant au bon déroulement des procédures qui aboutiront à la réception des installations avant leur mise en service.

La création de l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire va certainement entraîner une modification des procédures actuelles. La nouvelle loi (15 avril 1994) confie désormais explicitement à l'Agence les missions d'inspection et de contrôle sur le terrain que le règlement actuel confiait aux organismes agréés. Elle découple surtout la relation financière existant entre les exploitants et les organismes agréés : dorénavant, ce sera l'Agence qui facturera aux exploitants et qui paiera ensuite ses éventuels sous-traitants, c'est-à-dire l'organisme agréé. La loi organise aussi les conditions dans lesquelles l'Agence pourra déléguer une partie de ses missions à un ou plusieurs organismes agréés.

Dans le domaine médical, l'Agence décidera de l'agrément des appareils à usage médical émettant des rayonnements ionisants, ainsi que celui des pharmaciens et des médecins utilisant ces sources de rayonnements ionisants à des fins médicales.

4-4 Aspects pratiques de la surveillance de l'exposition

4-4-1 Généralités: l'utilisation des radiations ionisantes en milieu médical

Les aspects pratiques sont étroitement liés aux types de sources et aux méthodes mises en oeuvre dans les différents services dans un but thérapeutique ou diagnostique.

Quatre domaines sont concernés par l'utilisation des rayonnements ionisants:

- la radiothérapie externe
- la curiethérapie
- le radiodiagnostic
- la médecine nucléaire.

Ainsi, vis-à-vis de la radioprotection, on se trouve confronté à :

- différents types de source
 - générateurs électriques (photons, électrons)
 - sources scellées
 - sources non scellées
- différents risques d'exposition
 - externe
 - interne
- différentes conditions d'utilisation
 - zone contrôlée interdite au personnel pendant l'irradiation
 - zone contrôlée
 - zone surveillée accessible aux patients et au public.

Il en résulte qu'en pratique, la radioprotection va reposer sur la conception des locaux, la conception du matériel, l'équipement des locaux et le respect des consignes par le personnel.

Les sources sont très diverses, émettant dans le cas le plus général des photons X et gamma, des électrons de haute énergie ou des particules bêta.

Le domaine de la radiothérapie externe recouvre l'utilisation de sources telles que la contactthérapie (appareils produisant des rayons X de faible énergie, inférieure à 50 kV), de la cobalthérapie (sources de cobalt 60 de plusieurs térabecquerels (TBq) et de la thérapie par électrons de haute énergie (jusqu'à 40 MeV). Pour les appareils de haute énergie, les débits de dose sont d'environ 2 Sv par minute (2 Sv min.^{-1}) à une distance de 1 m de la source. Les niveaux d'irradiation dans la salle pendant le traitement ne permettent pas au personnel d'y rester et la radioprotection consiste essentiellement à étudier les locaux de manière à offrir des conditions de protection acceptable à l'extérieur.

Pour rappel, les domaines envisagés dans cette étude sont la radiothérapie externe (cobalthérapie et radiothérapie à haute énergie) et la radiothérapie métabolique (médecine nucléaire). Le premier présente le risque d'exposition externe et pour le second il convient d'y ajouter le risque d'exposition interne.

Avant de présenter les aspects pratiques de la surveillance individuelle liés aux applications qui nous intéressent, il est utile de dresser un bilan aussi complet que possible des moyens et des méthodes de radioprotection ainsi que des situations les plus critiques vis-à-vis de l'exposition professionnelle et de l'exposition accidentelle du patient.

En Grande Bretagne, le *Health and Safety Executive* (HSE) a répertorié les incidents survenus entre 1986 et 1990. (tableau 3)

Année	Radiothérapie	RX (diagnostic)	Médecine nucléaire	Total
1986		4		4
1987		7		7
1988	2	8		10
1989	3	8	1	12
1990	2	3		5
Total	7	30	1	38

4-4-2 La radiothérapie externe

Les deux appareils constituant l'équipement de base sont l'appareil de Cobalthérapie et l'accélérateur linéaire (photons et/ou électrons).

Ces appareils sont installés dans des locaux dont la structure générale est donnée à la figure 1.

La salle d'irradiation est "Zone contrôlée interdite au personnel pendant l'irradiation" et un dispositif de sécurité, parfois complété d'indications visuelles, arrête immédiatement l'émission de rayonnement en cas d'ouverture de la porte avant la fin de l'irradiation.

L'épaisseur des parois est calculée d'après les caractéristiques d'émission et d'utilisation de l'appareil ainsi que d'après l'usage des locaux adjacents. Les hypothèses retenues pour l'utilisation sont telles qu'elles garantissent un niveau d'exposition très faible du personnel et du public (tableau 4). Outre la distance, on considérera la charge de travail de la machine, la pondération dans les différentes orientations du faisceau et le facteur d'occupation du local pour lequel on calcule la protection.

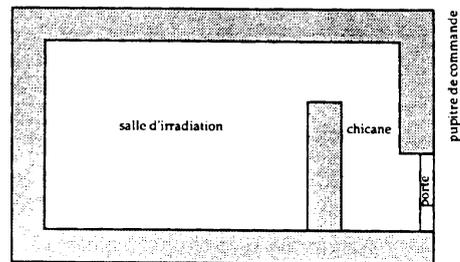
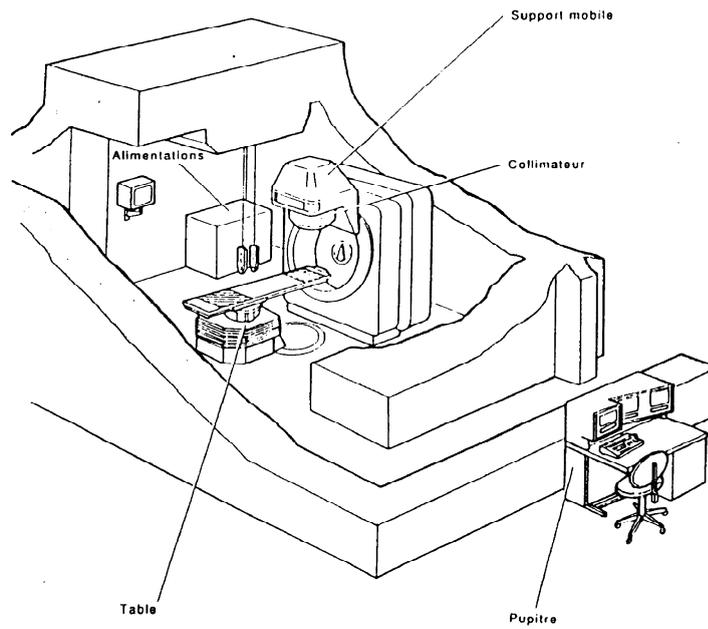


Fig. 1 - Structure d'une salle de radiothérapie externe.
Structure of a treatment room used for external radiotherapy.

Figure 1: Implantation d'un appareil de radiothérapie externe

Tableau 4.: Limites annuelles d'exposition et débits horaires considérés pour le calcul des protections en fonction des locaux

Lieu	Limite annuelle D'exposition (mSv)	Débit horaire maximal ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)
Zone contrôlée	50 [20]	25 [10]
Zone surveillée	15 [6]	7,5 [3]
Zone non surveillée	5 [1]	2,5 [0,5]

[] = recommandations ICRP 60

Télégammathérapie

La tête des appareils de télégammathérapie est conçue pour que le débit de dose à l'extérieur respecte les normes lorsque la source est en position de repos. En pratique, il s'agit d'obtenir un débit de dose inférieur à 0.02 mSv h^{-1} à 1 m de la source et de $0,2 \text{ mSv h}^{-1}$ en tout point facilement accessible situé à 5 cm du blindage.

Une exposition continue de 50 h par semaine sur toute l'année conduit à $0.02 \times 50 \times 50 = 50 \text{ mSv an}^{-1}$ qui est la limite actuelle de dose annuelle pour une personne professionnellement exposée.

Lorsque la source est en position d'irradiation, seul le malade est présent dans la salle et il convient de préserver le personnel qui se trouve dans les locaux adjacents, où se situe en particulier le pupitre de commande. Il faut le protéger de l'irradiation par le faisceau primaire et aussi de l'irradiation par le faisceau diffusé.

On obtient ce résultat en équipant le local de parois suffisamment épaisses (de l'ordre du mètre de béton) et en concevant l'entrée de la salle sous la forme d'une chicane, évitant ainsi l'installation d'une porte trop lourde.(tableau 5)

Tableau 5:Ordre de grandeur des épaisseurs des parois de salle d'irradiation en radiothérapie externe, pour du béton ordinaire ($2,5 \text{ g cm}^{-3}$)

Appareil	Faisceau primaire	Rayonnement diffusé, rayonnement de fuite
Cobalthérapie	1,2 m	0,5 m
Accélérateur linéaire	2,5 m	1,5 m

Une sécurité supplémentaire est obtenue par le fait que toute ouverture de la porte d'accès de la salle de traitement pendant une irradiation se traduit par le retour automatique de la source en position de repos.

D'autres sécurités ou systèmes d'informations visuelles sont prévues: arrêt d'urgence, balise de mesure du débit de dose ambiant, indicateur lumineux de position de la source. Elles sont contrôlées régulièrement et les anomalies sont généralement consignées dans un livre de bord.

Toutes ces dispositions, qui sont décrites dans la demande d'autorisation d'exploitation et qui font l'objet d'une **réception préalable** par un organisme agréé, garantissent en général au personnel un niveau d'exposition inférieur aux normes actuellement d'application pour les personnes du public (5 mSv an⁻¹). Malgré tout, deux situations peuvent éventuellement conduire à une irradiation plus importante :

- une fuite au niveau de la tête de l'appareil, la source étant en position de repos;
- un blocage de la source lors de son retour en position de repos.

Le premier problème pourrait conduire à un équivalent de dose d'environ 1 à 2 mSv an⁻¹ pour des conditions de travail habituelles, comparable à l'équivalent de dose moyen pour la population belge.

Dans le second cas, une intervention rapide et simple permet de commander manuellement le retour de la source en position de repos. Effectuée par un personnel informé et bien entraîné, cette intervention ne conduit pas habituellement à une irradiation décelable par un dosimètre individuel classique (<0.2 mSv).

Accélérateurs médicaux

Pour les appareils mis en oeuvre en radiothérapie à haute énergie, du type accélérateur linéaire ou linac, seule la commande de l'irradiation provoque l'émission de rayonnement.

La conception des locaux est identique à celle des locaux de cobaltothérapie. On notera toutefois une épaisseur plus importante des parois et de la porte. Il est aussi impératif d'indiquer au personnel l'état dans lequel se trouve l'appareil de traitement auprès duquel il travaille (préparatoire, prêt, marche, anomalie, arrêt). Les états peuvent être mentionnés en clair au poste de commande et signalés par des voyants lumineux.

Toutes ces précautions garantissent une bonne protection du personnel; en particulier, il ne subsiste pas de source active en dehors des irradiations commandées.

On notera encore :

- la production de neutrons par interaction des photons avec la structure de l'accélérateur (tableau 6),
- l'activation de certains composants des accélérateurs de très haute énergie ainsi que l'activation de la salle et du patient.

Tableau 6: Production de neutron par les accélérateurs médicaux			
Accélérateur	MV	MeV	Fluence neutron par unité de dose RX (cm⁻² Gy⁻¹), champ de 20 x 20 cm²
Siemens KD	16,5	20	1,21 10 ⁷
Varian 1800	16,8	18	1,42 10 ⁷
Philips SL-25	22,0	25	2,37 10 ⁷
Philips SL-20	17,0	20	0,69 10 ⁷
CGR 2F	15,5	20	2,88 10 ⁷

En fait, ce risque est peu élevé. On cite ainsi des expositions du personnel entre 1 et 2 mSv an⁻¹ auprès d'accélérateurs de 18 MeV mais rien pour des appareils de 4 à 6 MeV. Auprès d'un patient ayant reçu une dose de 2.1 Sv on a mesuré un débit de dose d'environ 0,12 mSv h⁻¹ juste après le traitement et de 0,02 mSv h⁻¹, 10 minutes plus tard. Ces valeurs sont bien inférieures aux normes.

Risques encourus par le patient

Ils résultent en général de la délivrance de doses inexactes dans le faisceau utile, liée à la défaillance des systèmes de surveillance de dose ou des minuteries, ou encore à des erreurs humaines, comme le choix erroné de l'énergie ou de la nature du rayonnement, la sélection d'une mauvaise durée d'irradiation, l'oubli de la mise en place d'un filtre, une erreur de calcul des durées d'irradiation, etc.

Le calcul des durées d'irradiation dépend du débit de dose de l'appareil de traitement. On doit donc connaître son débit avec grande précision et le vérifier régulièrement.

Il peut aussi s'agir de défaillances mécaniques comme le coincement du porte-source des appareils de télégammathérapie soit en position d'irradiation, soit en position de repos.

Risques encourus par le personnel

Il s'agit le plus souvent de la défaillance de la sécurité de porte qui n'interrompt pas l'irradiation à l'ouverture de porte.

Il s'agit aussi du coincement du porte-source. Dans ce cas, le personnel doit pénétrer dans la salle de traitement, ne pas s'affoler, faire descendre le patient du lit de traitement, ne pas passer dans le faisceau utile et utiliser les dispositifs manuels prévus pour mettre l'équipement en condition "arrêt faisceau".

Cette procédure doit être affichée au poste de commande et le personnel doit être "entraîné".

On peut aussi remédier à certaines erreurs humaines en ajoutant diverses aides visuelles ou auditives qui avertissent l'opérateur de la situation anormale annoncée par les indications lumineuses et non repérées lors de l'entrée dans le local d'irradiation.

Ainsi, deux défaillances consécutives d'un système de rappel d'une source de cobalt 60 (bris du ressort puis défectuosité suite à une mauvaise maintenance) ont entraîné l'irradiation de deux opérateurs, respectivement environ 6 mSv et 11 mSv au niveau de la poitrine. Pour le second opérateur, la dose au niveau de l'abdomen était d'environ 2 mSv. Même si ces doses restent dans les limites actuellement définies pour des personnes professionnellement exposées (50 mSv et 8 mSv pour la dose à l'abdomen de femmes en état de procréer) il est clair qu'en vertu d'un principe fondamental de la radioprotection, toute dose non utile doit être évitée et qu'il faut prendre des mesures pour prévenir la répétition de tels incidents. Comme les doses encourues résultaient principalement d'une mauvaise interprétation de la signalisation lumineuse qui indiquait que la source était bloquée dans une position intermédiaire, on a installé des indications supplémentaires:

- *barrière virtuelle: détecteur ultrasonore de présence qui alerte l'opérateur s'il ne prête pas attention à la signalisation lumineuse en entrant dans la chicane d'accès,*
- *balise de mesure du champ de rayonnement, visible depuis l'entrée de la chicane d'accès,*
- *arrêt d'urgence du type coup de poing à l'entrée de la chicane,*
- *repères sur la tête d'irradiation pour visualiser la position de la source à l'aide de la caméra de surveillance du patient,*
- *carnet de bord où sont consignés régulièrement les temps d'ouverture et de fermeture de la source et toutes les constatations faites par la maintenance ou l'opérateur,*
- *l'affichage des procédures au poste de commande.*

L'exposition accidentelle du patient ou du personnel

Lors d'une irradiation accidentelle du patient, le service de physique, qui est légalement obligatoire, peut estimer par calcul la valeur de la dose reçue. Les médecins responsables donneront alors au patient les soins requis en fonction de la gravité de l'irradiation.

La même estimation de la dose pourra être faite lors d'une irradiation accidentelle du personnel, en fonction des indications fournies par la personne irradiée. Son dosimètre individuel, si elle le porte, sera envoyé immédiatement au service compétent pour être lu dans les délais les plus brefs. La personne sera interdite de zone contrôlée jusqu'à connaissance de la dose reçue. La décision réglementaire qui s'impose sera alors prise.

4-4-3 La médecine nucléaire

La radioprotection repose sur une hiérarchisation de locaux en fonction du niveau d'activité, et par un aménagement et un équipement destiné à éviter, ou au moins à limiter les conséquences d'une contamination radioactive.

Les manipulations pourront parfois se faire dans des enceintes blindées ou à l'abri d'une protection de plomb pour limiter l'irradiation externe.

Les sources sont préparées et manipulées manuellement et, après injection ou ingestion, le patient est porteur de la source qui s'éliminera suivant la période biologique qui lui est propre.

En plus d'un risque d'exposition externe qui résulte de la proximité de l'opérateur par rapport aux sources lors de leur préparation, existe celui d'une exposition interne consécutive à une contamination externe et/ou interne.

Actuellement, la majorité des examens à but diagnostique sont à base de technétium 99m avec des activités comprises entre 40 et 1000 MBq. D'autres radionucléides sont utilisés : chrome 51, fer 59, gallium 67, iode 123, iode 131, etc.

En utilisation thérapeutique on retrouve essentiellement l'iode 131, pour lequel on peut employer jusqu'à 3,7 GBq dans les traitements de cancers thyroïdiens. Pour le traitement de neuroblastomes ou de chromocytomes, on utilisera jusqu'à 5,5 GBq en injection intraveineuse. On utilise encore du strontium 89, du phosphore 32, etc.

Les caractéristiques des sources utilisées en médecine nucléaire entraînent une radioprotection spécifique: locaux conçus et équipés de façon à limiter tout risque de contamination. Deux risques peuvent être retenus :

- l'irradiation des doigts en raison des très fortes activités manipulées;
- la contamination interne par inhalation d'iode 131 et d'iode 125 en raison de leur caractère volatil.

L'injection de technétium 99m sans protège-seringue conduit à une exposition de 2.6 à 5.6 mSv MBq⁻¹ min⁻¹, ce qui correspond, pour le travail dans un service normal, à une exposition de 1 à 3 Sv par an au doigt le plus exposé. L'utilisation des protège-seringues classiques permet un gain d'un facteur 20; pour une protège-seringue de 22 mm de tungstène, le gain serait d'environ 600.

Dans le cadre des administrations d'iode 131 à but thérapeutique, le risque d'une contamination interne paraît lié à l'utilisation de NaI pour la préparation des doses. Ce risque est particulièrement réduit lors de l'emploi de gélules contenant l'iode.

En application thérapeutique, le patient sera généralement hospitalisé dans une chambre équipée spécialement pour limiter la dispersion de la contamination due aux excréments. Des directives particulières lui seront fournies à la sortie de l'hôpital pour limiter le transfert de contamination aux personnes environnantes et surtout aux jeunes enfants.

L'utilisation de radionucléides de période effective longue imposera des contraintes particulières lors du décès d'un patient: incinération interdite, cercueil hermétique, etc. Dans tous les cas, les médecins amenés à pratiquer une autopsie seront avertis de la présence de substances radioactives.

Risques encourus par le patient

Ils dépendent de la dose absorbée lors de l'examen réalisé. Elle peut être déterminée par le mode de calcul du *Medical International Dose Committee* (MIRD). Ce calcul ne peut être fait individuellement pour chaque malade en diagnostic. On utilise généralement des tables qui fournissent les doses par unité d'activité administrée.

Dans les applications thérapeutiques, l'activité à administrer doit être calculée pour chaque malade, à partir de données biologiques et, autant que possible, selon différentes méthodes.

Les mesures de protection particulières consistent en l'application de règles générales

- ne pas effectuer, en dehors de l'urgence, d'examen chez la femme enceinte;

- suspendre l'allaitement pendant les jours qui suivent l'exploration
- en période d'activité génitale, ne réaliser les investigations que dans les dix jours qui suivent les règles.

D'autres actions spécifiques peuvent être prises telle que le blocage de la thyroïde, en cas d'exploration d'un autre organe par un produit marqué à l'iode radioactif.

Risques encourus par le personnel

On distingue un risque d'exposition externe (tableau 7) et un risque d'exposition interne.

L'évaluation du risque d'exposition externe repose sur une juste appréciation des doses reçues lors des différentes manipulations effectuées: prélèvement, élution, marquage, injection, réalisation des examens, etc..

Le risque d'exposition interne résulte surtout de la dispersion possible de la radioactivité dans les locaux ou sur les plans de travail. En hospitalisation, cette exposition interne pourrait résulter du non-respect des consignes lors d'interventions sur les patients hospitalisés pour une thérapie métabolique.

Tableau 7: Débit de dose absorbée auprès d'un patient immédiatement après une dose thérapeutique de 4 GBq d'iode 131	
Distance (m)	Débit de dose absorbée (mGy/h)
0,1	22
0,5	0,9
1,0	0,2
2,0	0,05

Au niveau de la prévention, on notera :

- l'utilisation d'équipements de protection individuels (vêtements de travail, gants);
- l'utilisation de dispositifs permettant de réduire les doses reçues aux extrémités et aussi au corps entier (protège-seringues, appareils de manipulation à distance, écrans mobiles);
- l'utilisation d'enceintes de stockage, de boîtes à gants.

5- Exposition professionnelle dans le domaine médical

Au niveau de l'exposition professionnelle, on peut aussi s'intéresser à l'optimisation et appliquer le principe ALARA, "*As Low As Reasonably Achievable*".

Une étude française (Lefaire et al, 1993) permet d'illustrer cette démarche.(tableau 8)

Tableau 8: Expositions individuelles moyennes et pourcentage de travailleurs exposés dépassant 15 mSv en 1993 selon les activités dans le secteur médical		
Activité	Dose individuelle moyenne (mSv/an) (1)	Fraction supérieure à 15 mSv (2)
<u>Radiodiagnostic</u>		
Hôpital	3.9	5.6 %
Privé	2.5	2.4 %
Dentaire	2.0	2.2 %
Médecine du travail	4.4	5.6 %
<u>Radiothérapie</u>		
Externe	3.2	0.8 %
Curiethérapie	3.5	4.9 %
<u>Médecine nucléaire</u>		
<i>in vivo</i>	2.0	1.6 %
<i>in vitro</i>	1.6	
TOTAL	2.9	3.3 %

(1) dose moyenne annuelle par travailleur exposé, calculée sur les populations surveillées

(2) pourcentage des travailleurs exposés à plus de 15 mSv; ratio calculé sur les populations surveillées

Dans le secteur médical, les travailleurs excédant 15 mSv par an représentent 3,3% des travailleurs exposés alors que dans le secteur électronucléaire ils représentent 5,9% des travailleurs des centrales et 11,7% des travailleurs des entreprises extérieures. Des doses supérieures à 50 mSv sont obtenues dans respectivement 0,70% des cas dans le domaine médical et dan 0,01% des cas dans l'électronucléaire.

Une étude rétrospective dans un centre hospitalier universitaire permet de dresser un tableau comparable. (tableau 9)

Tableau 9: Distribution des doses dans un centre hospitalier universitaire			
Doses	Imagerie médicale	Cardiologie	Médecine nucléaire
D = 0	26 %	33 %	15 %
D < 5 mSv	57 %	55 %	50 %
5 < D < 20 mSv	16,5 %	12 %	32 %
20 < D < 50 mSv	0,5 %	0 %	3 %

Ces tableaux montrent qu'il importe d'améliorer la protection du personnel exposé dans la fourchette 5 - 20 mSv lorsqu'on examine l'impact qu'auraient, au moment de leur introduction, les nouvelles limites de doses de la CIPR. L'action du service de contrôle physique, avec la coopération des responsables des services concernés et du personnel, devra être axée sur l'application du principe ALARA : toutes les expositions doivent être maintenues à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement possible.

Des propositions ont été effectuées aux Etats-Unis dans le rapport 107 du *National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP) pour fixer des niveaux d'investigation dans le secteur médical.

Si l'on fait l'hypothèse que l'urgence en matière d'optimisation concerne les services où des travailleurs dépassent la dose en dessous de laquelle se situent 90 % des travailleurs exposés dans le secteur, les statistiques disponibles en France conduiraient à considérer un niveau d'investigation proche de 5 mSv.

Une investigation en matière d'optimisation devrait être effectuée dans tout service où des travailleurs exposés dépasseraient les 5 mSv annuels.

Cette première analyse est assez grossière car elle dépend de la qualité des données statistiques et aussi des situations particulières rencontrées.

Ainsi, l'application des rayons X au radiodiagnostic couvre un large domaine de procédures (radiographie conventionnelle, mammographie, scanographie, angiographie, radiologie interventionnelle) dont la mise en oeuvre conditionne directement l'exposition professionnelle. On doit par exemple faire la différence entre une procédure où l'opérateur est à distance du patient, protégé par un paravent et celle où l'opérateur est à proximité du patient, protégé par le port d'un tablier. La situation sera encore différente en radiologie interventionnelle où les niveaux d'exposition peuvent être plus élevés.

Retenir un seuil unique de 5 mSv pour l'ensemble du radiodiagnostic n'a que peu de signification. Il faut le moduler et par exemple retenir un niveau nettement plus faible pour les procédures où l'opérateur est à distance.

6- L'exposition médicale et la protection du patient, dans le cadre de la publication 60 de la CIPR

L'importance de l'irradiation médicale dans le bilan des doses collectives justifie une attention particulière.

L'exposition moyenne de la population belge aux rayonnements ionisants est estimée à 3,6 mSv par an; une dose de 2,6 mSv est attribuée aux sources naturelles et une dose de 1 mSv, aux sources provenant des activités humaines.

La contribution des sources radioactives d'origine humaine a été arrondie à 1 mSv par an. Les applications médicales contribuent pour 0,95 mSv tandis que 0,05 mSv proviennent de toutes les autres sources telles que la production d'énergie d'origine nucléaire, la contamination de l'environnement par les essais nucléaires atmosphériques dans les années 60 et par l'accident de Tchernobyl, le rayonnement X produit par les tubes cathodiques, les détecteurs de fumées à ionisation et les cadrans lumineux. L'exposition médicale est en expansion constante suite à l'accroissement du nombre d'examen. Dans certains cas, une augmentation de la dose est induite par la recherche d'une meilleure qualité d'image.

6-1 Cadre général

Le système de base de la protection défini dans la publication 60 (1991) concerne les expositions professionnelles, les expositions médicales et les expositions du public. Il fait la distinction entre les "pratiques" qui sont à l'origine des expositions aux rayonnements et les "interventions" qui réduisent de telles expositions.

- L'exposition professionnelle est celle subie au cours du travail; elle résulte principalement de ce travail lui-même.
- ***L'exposition médicale est plus particulièrement l'exposition des personnes à l'occasion d'un diagnostic ou d'un traitement.***
- L'exposition du public comprend toutes les autres expositions.

Les mesures nécessaires pour limiter l'exposition des individus peuvent être prises par une action sur la source, l'environnement ou l'individu.

- L'action exercée à la source est la moins perturbatrice et peut être rendue aussi efficace que nécessaire. A la limite, l'action peut consister à supprimer l'utilisation de la source.
- L'action exercée sur l'environnement ou l'individu est plus gênante et peut avoir des inconvénients sur le plan social qui ne sont pas tous prévisibles.

Pour les expositions médicales, les actions peuvent être appliquées aux trois niveaux mais surtout en tant que fonction intégrée au diagnostic et au traitement plutôt que comme un système de protection séparé.

La Commission Européenne a toujours considéré que le développement de l'utilisation des radiations ionisantes dans le domaine médical requiert des mesures spécifiques pour protéger le patient. C'est la raison pour laquelle les directives de base ont été amendées en 1984 et complétées par une directive spécifique relative à la protection des personnes soumises à un examen médical ou un traitement médical. Ceci a été repris dans la réglementation belge, la date limite pour la mise en oeuvre étant alors le 1 janvier 1986.

Pour tenir compte des nouvelles techniques et des nouveaux concepts dans le domaine de la radioprotection médicale ainsi que de la philosophie introduite lors de la révision des directives, la Commission a pris, en 1994, l'initiative de revoir la directive "Patient". Elle a demandé au groupe d'experts "Article 31" de proposer un premier texte qui étend et complète la directive

actuelle et qui s'aligne sur les recommandations de la CIPR dans ce domaine. Les modifications suivantes sont proposées:

- définition de la terminologie utilisée;
- définition de l'objet précis de la directive;
- présentation des principes de base (justification et optimisation) appliqués aux applications médicales;
- définition claire des responsabilités des différents intervenants lors d'une prescription d'une exposition médicale;
- définition du cadre de formation: reconnaissance par les autorités compétentes, formation continue;
- mise en place d'un programme d'assurance de la qualité;
- énumération des pratiques qui requièrent une attention particulière;
- attention particulière sur l'exposition des femmes enceintes ou allaitantes;
- analyse des expositions potentielles dans le domaine médical;
- niveaux de référence pour les personnes qui sont amenées à aider un patient.

6-2 Le système de protection

Trois concepts définissent la radioprotection :

- la justification, qui impose qu'aucune action impliquant des expositions aux rayonnements ionisants ne soit adoptée si elle n'apporte un avantage suffisant, aux individus exposés ou à la société, qui contrebalance le détriment radiologique qu'elle induit;
- l'optimisation, qui consiste à maintenir aussi bas que raisonnablement possible, en tenant compte des contraintes économiques et sociales,
 - le niveau des doses individuelles (contrainte de dose)
 - le nombre de personnes exposées
 - la probabilité de subir une exposition quand cette dernière n'est pas certaine d'être reçue (contrainte de risque, exposition potentielle)
- la limitation individuelle des doses qui a pour but d'assurer qu'aucun individu n'est exposé à des risques radiologiques jugés inacceptables dans des circonstances normales.

6-3 L'exposition médicale

Dans le domaine médical, la radioprotection couvre d'une part l'exposition médicale et, d'autre part, l'exposition des travailleurs et des membres du public.

L'exposition médicale peut être définie

- soit comme une exposition résultant du diagnostic ou du traitement médical,

- soit comme une exposition volontaire et en connaissance de cause d'une personne voulant aider et soutenir un patient soumis à un tel diagnostic ou traitement.

Elle inclut aussi l'exposition des visiteurs, normalement des parents, qui souhaitent réconforter les patients durant leur traitement avec des radiopharmaceutiques ou durant un traitement de brachythérapie.

On y ajoutera encore l'exposition dans un but médico-légal ou à la demande d'une compagnie d'assurance ainsi que les expositions des volontaires dans le cadre d'un programme de recherches biomédicales.

Commentaire: L'exposition pour aider et soutenir un patient.

L'expression "volontaire et en connaissance de cause" implique une estimation réaliste et une discussion du risque possible avec les personnes concernées pour arriver à un accord avant de subir l'exposition. La personne concernée est donc complètement informée.

Une telle exposition est rangée parmi les expositions médicales et n'est donc pas soumise aux limites et contraintes de dose pour le public. Néanmoins, les principes généraux d'optimisation et de justification restent d'application.

*L'IAEA recommande que la dose reçue par un visiteur ou un aide volontaire n'excède pas **5 mSv** pendant la période durant laquelle le patient sera traité. La dose aux enfants qui visitent des patients traités avec des radionucléides radioactifs (ingestion) ne devrait pas excéder **1 mSv**.*

Ces recommandations ont été reprises dans les "Recommandations relatives aux conditions et aux critères d'hospitalisation et de sortie des patients traités au moyen de radionucléides par voie métabolique" (Proposition discutée au Conseil Supérieur d'Hygiène, mars 1995).

*En pratique, une contrainte de dose souple de **5 mSv** par traitement sera appliquée pour les membres de l'entourage non professionnel ayant donné leur consentement éclairé. Il faut aussi tenter d'obtenir l'exposition la plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, après avoir pris en compte tous les aspects du problème (sanitaire, économique, psychologique, social). Ce plafond n'est cependant pas rigide: l'intérêt du patient doit primer. Les limites de dose ne sont pas ici d'application.*

*Les limites de dose sont par ailleurs d'application pour les personnes qu'il y a lieu de considérer comme des membres du public, notamment les enfants et aussi les enfants à naître, mais aussi les travailleurs hospitaliers non professionnellement exposés, les autres malades hospitalisés, les visiteurs autres que ceux visés au paragraphe précédent. En pratique, les instructions délivrées aux patients et les dispositions pratiques à prendre au sein de l'hôpital seront basées sur le respect de la limite de dose de **1 mSv** par an avec une contrainte de **0.5 mSv** par an et par individu afin de tenir compte des autres sources d'exposition naturelle.*

De ces recommandations découlent toute une série de règles pour :

- *le traitement des affections non-cancéreuses à l'aide d'iode-131 (sous forme d'iodure de sodium)*
- *le traitement du cancer thyroïdien à l'aide d'iode-131 (sous forme d'iodure de sodium)*
- *le traitement métabolique à l'aide de strontium 89 ou de phosphore 32*

- *le traitement métabolique à l'aide d'iode-131 - MIBG*
- *les traitements radioimmunothérapeutiques et autres traitements.*

Le système de protection pour l'exposition médicale comporte:

- **la justification d'une pratique,**
- **l'optimisation de la protection,**
- **le système de limitation des doses.**

6-3-1 La justification d'une pratique

La justification est le premier principe de base de la protection radiologique.

“No practice involving exposures of radiation should be adopted unless it produces sufficient benefit to the exposed individuals or to society to offset the radiation detriment it causes” (ICRP 60, par. 112).

La justification d'une pratique médicale est requise non seulement lorsqu'une nouvelle pratique est introduite mais aussi lorsqu'une ancienne pratique est réexaminée en fonction de nouvelles informations quant aux bénéfices et conséquences. Si cet examen révèle que le bénéfice escompté est supplanté par les inconvénients prévisibles ou qu'une autre pratique procure un meilleur bénéfice, il faudra envisager l'abandon de cette pratique.

Dans le domaine médical, le processus de justification n'implique pas seulement les patients et les autres personnes exposées mais aussi le personnel et les personnes du public.

On peut envisager deux niveaux de justification :

- la pratique elle-même doit être justifiée
- l'exposition individuelle d'un patient particulier doit être justifiée.

Justification d'une pratique médicale

La justification d'une pratique médicale devrait être décidée d'un commun accord entre les professionnels de la santé et les Autorités responsables. Les premiers ont souvent tendance à se limiter au strict point de vue médical alors que les seconds n'ont pas toujours la connaissance médicale suffisante pour porter un jugement approprié. Dès lors une approche commune et équilibrée paraît souhaitable.

La plupart des avantages et des détriments concernent en premier lieu les individus qui font l'objet d'examens diagnostiques ou d'actes thérapeutiques.

On devrait aussi prendre en compte :

- toutes les expositions résultantes, entre autres les expositions professionnelles et celles du public;

- toutes les expositions potentielles, c'est-à-dire toutes les expositions éventuelles qui ne peuvent pas être prévues avec précision. Leur probabilité d'occurrence peut être estimée. Elles pourraient résulter d'écarts accidentels par rapport aux procédures de fonctionnement prévues, ou bien de défaillances au niveau des équipements.

Si l'on souhaite poursuivre la logique de l'optimisation on doit non seulement considérer le bénéfice direct pour le patient mais aussi celui qui concerne son entourage proche et la société dans son ensemble. De même, parmi les inconvénients on doit aussi considérer non seulement le risque estimé pour l'irradiation mais aussi le risque d'accident, l'inconvénient dû au produit de contraste (réaction secondaire, persistance du produit) injecté et les contraintes imposées au confort du patient.

Justification d'une exposition médicale individuelle

La justification d'une exposition médicale individuelle est avant tout de la responsabilité du praticien, tant au niveau de la prescription que de l'application radiologique.

Si le patient appartient à une population médicale pour laquelle une pratique médicale est déjà justifiée, il n'est pas nécessaire de procéder à une nouvelle évaluation au plan individuel.

En guise de commentaire:

Devant un cancer qui, non traité, évoluera forcément vers une catastrophe, il est évident que le bénéfice tiré du traitement radiothérapeutique dépasse de très loin les risques qu'il pourrait entraîner : les cancers secondaires ne surviennent généralement que dans un pourcentage très réduit de cas (quelques ‰ ou quelques %) et à échéance de plusieurs années voire de dizaines d'années. Le bénéfice du traitement l'emporte donc sur son coût, c'est-à-dire sur les conséquences secondaires possibles. Il faudra néanmoins prendre toutes les précautions pour limiter au maximum l'irradiation des organes sains.

Une contraception stricte s'impose pendant une radiothérapie parce que l'embryon et le fœtus sont très radiosensibles et il y a souvent un danger d'irradiation des gonades. Inversement, même après une stérilité temporaire, la procréation après un délai raisonnable, ne semble pas interdite.

Certaines radionucléides, dangereux pour le fœtus, ne peuvent être employés que si une grossesse a été formellement éliminée; l'iode radioactif par exemple est capable d'altérer la glande thyroïde du fœtus à partir du 3ème mois de la grossesse.

La compétence du radiologiste ou du radiothérapeute et de son personnel joue évidemment un rôle essentiel.

Chaque acte, qu'il soit diagnostique ou thérapeutique, fait l'objet d'une décision particulière, de sorte que l'on a la possibilité d'appliquer une justification supplémentaire au cas par cas pour chacun d'entre eux.

Cela n'est pas vraiment nécessaire pour des actes diagnostiques simples basés sur des indications ordinaires, mais peut être important pour les investigations complexes et la thérapeutique.

Des orientations pratiques sont proposées dans les publications 34 (1982), 44 (1985) 52 (1987) et 73 (1996).

- *Publication 34, "Protection of the Patient in Diagnostic Radiology"*

- *Publication 44, “Protection of the Patient in Radiation Therapy”*
- *Publication 52, “Protection of the Patient in Nuclear Medicine”*
- *Publication 73, “Radiological Protection and Safety in Medicine”.*

6-3-2 L’optimisation de la protection

La plupart des actes qui entraînent des expositions médicales sont largement justifiés et bénéficient généralement à l’individu exposé.

On a prêté jusqu’ici moins attention à l’optimisation de la protection dans ce domaine.

Dans le domaine du radiodiagnostic, il est possible de réduire encore les doses délivrées. Des mesures simples et peu coûteuses sont disponibles sans perte d’informations diagnostiques. Leur utilisation varie largement et, pour le même type d’examen, les doses délivrées peuvent varier de deux ordres de grandeur. De nombreuses actions de protection telles que l’usage d’écrans à terres rares ou de tables en fibres de carbone apparaissent comme étant efficaces pour un coût restant limité.

Les potentialités pour réduire les doses aux patients existent et la procédure d’optimisation doit désormais jouer son rôle pour évaluer et comparer les différentes actions possibles et identifier celles qui conduisent à la meilleure répartition des ressources financières disponibles entre la protection et d’autres finalités.

Si l’on examine plus en détail les domaines pour lesquels l’optimisation peut s’appliquer, le choix des investissements en matière d’équipement et d’installation de locaux est probablement le plus évident.

Le développement de la formation peut également jouer un rôle important dans la réduction des doses aux patients ainsi qu’au personnel des services.

L’assurance de qualité est un autre domaine où des actions spécifiques peuvent être évaluées :

- réduction de l’exposition collective par le contrôle et la diminution des clichés nuls dans les services de radiodiagnostic;
- le contrôle des clichés afin de conserver le degré approprié de sensibilité, contraste, résolution tout en minimisant les doses aux patients.

Une certaine souplesse doit néanmoins être conservée pour laisser la possibilité de délivrer des doses plus élevées lorsque cela est justifié par un jugement clinique fondé.

L’optimisation de la protection doit être prise en compte lorsque les examens ne bénéficient pas directement à l’individu exposé, par exemple lorsqu’il s’agit d’études scientifiques et cliniques impliquant l’exposition de volontaires. Les contraintes de doses seront approuvées par un comité d’éthique sur base d’un avis donné par un expert expérimenté en radioprotection.

“Since radiotherapy can improve the quality of life of the large number of those affected by breast cancer, it must be necessary to optimise treatment so as to minimise side effects.”

(Radiological Protection Bulletin, NRPB, February 1996)

6-3-3 Le système de limitation des doses pour l'exposition médicale

On notera que la CIPR ne recommande pas l'application de contraintes de dose pour les expositions thérapeutiques.

En radiothérapie, la dose qui doit être "optimisée" du point de vue radioprotection est celle qui est distribuée aux organes et tissus sains qui entourent le volume traité. Le traitement et sa planification devraient être bien documentés et s'appuyer sur des mesures de dose correctement étalonnées.

Comme le traitement est très spécifique et très individuel, il est difficile d'établir des règles générales de contraintes de dose sur les procédures afin de préserver les tissus sains.

Dans le domaine de la médecine nucléaire, une enquête effectuée au Royaume Uni montre que, pour la même procédure, l'activité varie d'un facteur 2 à un facteur 15. Le NRPB a recommandé aux organisations professionnelles de définir des activités de référence, adaptées pour un patient adulte moyen. Elles ne sont toutefois pas restrictives quand le patient concerné diffère significativement du patient "moyen". L'AEIA a repris dans ses normes de bases ("Basic Safety Standards", 1994) des niveaux guides pour l'activité administrée dans 43 procédures de médecine nucléaire.

Les expositions médicales sont généralement destinées à apporter un avantage direct à l'individu exposé. Si la pratique est justifiée et la protection optimisée, la dose délivrée au patient sera aussi faible que cela est compatible avec les objectifs médicaux. Toute limitation supplémentaire ne pourrait se faire qu'au détriment du patient. La CIPR recommande donc de ne pas appliquer de limites de dose aux expositions médicales. En outre, il n'est pas approprié d'inclure les doses subies par les patients au cours d'actes thérapeutiques ou de diagnostics lorsque l'on examine la conformité avec des limites de doses appliquées aux expositions professionnelles ou aux expositions du public. De plus, toute augmentation de dose provenant d'une exposition professionnelle ou d'une exposition du public a pour résultat une augmentation du détriment qui n'est, pour une large part, pas affecté par les doses délivrées à des fins médicales.

Les actes diagnostiques et thérapeutiques entraînant une exposition de l'abdomen chez les femmes susceptibles d'être enceintes devraient être évités sauf s'ils sont justifiés du point de vue clinique.

6-3-4 L'évaluation des doses

La mesure ou l'évaluation des doses est fondamentale pour la pratique de la protection radiologique.

Ni la dose équivalente à un organe, ni la dose efficace ne peuvent être mesurées directement. Les valeurs de ces quantités doivent être calculées à l'aide de modèles, impliquant des paramètres morphologiques, métaboliques et dosimétriques. Ces paramètres devraient être réalistes pour obtenir les "meilleures estimations" et, lorsque cela est possible, les incertitudes inhérentes à ces résultats.

L'évaluation des doses reçues lors des expositions médicales, c'est-à-dire des doses délivrées aux patients, est d'une importance cruciale en radiothérapie. Elle est traitée par la *Commission Internationale des Unités de Mesures Radiologiques* (ICRU).

Des contrôles fréquents des équipements devraient faire partie d'un programme d'assurance de la qualité.

En médecine nucléaire, les activités administrées devraient toujours être consignées, et les doses évaluées à partir de modèles standards.

6-3-5 Les expositions potentielles

Toutes les expositions ne se produisent pas comme prévu. Il peut y avoir des écarts accidentels par rapport aux procédures de fonctionnement prévues, ou bien des défaillances au niveau des équipements ou encore des défaillances humaines.

De tels événements peuvent être prévus et leur probabilité d'occurrence peut être estimée, mais ils ne peuvent pas être prévus avec précision. On ne sait pas à quel instant ils vont se produire ni quel sera leur déroulement détaillé.

On parle alors d'expositions potentielles.

La prévention consiste à diminuer la probabilité d'occurrence. Elle implique que la fiabilité de tous les systèmes opérationnels et de sécurité ainsi que celle des procédures de travail soit assurée. La réduction consiste à limiter et à diminuer les expositions au cas où l'une des séquences se produirait. Beaucoup peut être fait au stade de la conception et du fonctionnement pour réduire les séquences d'accidents de façon à ce qu'il ne soit pas nécessaire d'intervenir.

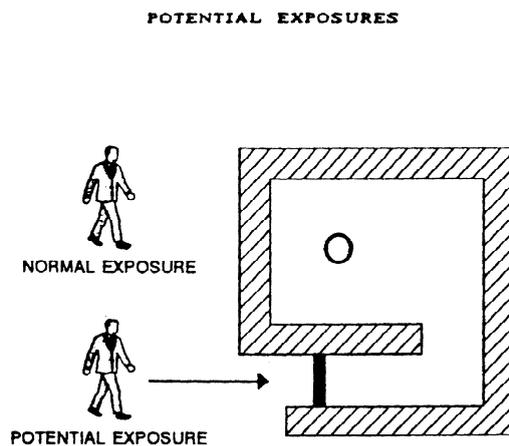


Figure 2: Exposition normale et exposition potentielle

Le fait particulier et unique de l'exposition médicale est l'irradiation de personnes, soit pour obtenir un diagnostic, soit en vue d'un traitement. Dès lors, si quelque chose se passe au niveau du faisceau ou de la source, il y a tout de suite un certain nombre de personnes concernées, non seulement le patient mais aussi les autres patients et même les personnes du public qui peuvent se trouver à proximité et même à l'intérieur des locaux où sont utilisées les sources. En outre d'autres membres du personnel, non expérimentés au niveau sûreté, peuvent être impliqués.

Des expositions accidentelles peuvent encore résulter du non-respect ou du manque de compréhension des règles de sûreté par les visiteurs de patients traités en radiothérapie métabolique ou en curiethérapie.

La probabilité d'une exposition potentielle en radiodiagnostic est relativement faible et les conséquences sont usuellement peu sévères.

Dans les applications thérapeutiques avec des sources externes, les doses et les débits de dose sont très élevés et un faible écart par rapport aux doses prescrites peut avoir des conséquences sévères et même fatales pour le patient. Les expositions potentielles comprennent encore les traitements délivrés au mauvais patient ou au mauvais tissu, avec une dose ou une dose fractionnée qui diffère nettement du profil prescrit et qui peuvent conduire à des effets secondaires indus. L'exposition potentielle du personnel est généralement attribuable à une défaillance de l'équipement. Il ne faut pas oublier les erreurs qui conduisent à des sous-dosages qui peuvent être extrêmement lourds de conséquences pour les malades : faillite du traitement en cours et mort prématurée du patient si l'erreur est découverte lorsque le patient est en phase terminale.

D'un bilan des accidents radiologiques en médecine (J.C. Nénot, IPSN, 1995) on extrait les informations suivantes :

Accidents dus à des sources scellées de téléthérapie

Ces accidents peuvent concerner le personnel hospitalier ou le personnel de maintenance, et aussi les patients eux-mêmes.

Les accidents de surexposition du personnel sont fort rares; il s'agit le plus souvent d'irradiations localisées aux mains en raison des conditions de survenue de l'accident.

Un exemple d'irradiation grave des mains est survenu en France, en avril 1981. Lors du chargement d'une source neuve de cobalt 60 (137 TBq ou 3700 Ci), trois techniciens ont été surexposés à des degrés variés, par la source qui était tombée sur le sol, suite à des fausses manoeuvres. La dose moyenne au corps entier a été d'environ 1 gray.

Au niveau des mains, l'évolution extrêmement rapide vers la nécrose a justifié l'amputation des deux mains chez deux intervenants et celle des 3 premiers doigts et d'une partie de la main chez le troisième.

Un accident similaire s'est produit en Tchécoslovaquie en décembre 1993.

Ces deux exemples illustrent l'importance du facteur humain dans la genèse des accidents, sources d'erreurs graves de jugement étonnantes chez des techniciens chevronnés.

Les accidents affectant les patients ont été évoqués plus haut.

On pourrait clore cette énumération en citant les accidents de JUAREZ (1977) et de GOIANIA (1987) causés par la dispersion de l'activité contenue dans des sources laissées à l'abandon et

démantelées par des ferrailleurs. Dans les deux cas, un grand nombre de personnes ont été exposées. Ce type d'accident n'est en général reconnu que lorsque le diagnostic des symptômes présentés par les irradiés est évoqué.

L'accident de Goiânia, 1987

Le démantèlement sauvage d'une source de téléthérapie de chlorure de césium (50.9 TBq, soit 1375 Ci) a entraîné des irradiations globales et localisées de nombreux habitants de Goiânia au Brésil.

Ces expositions se traduisent par 4 décès et de nombreuses brûlures radiologiques. Un nombre élevé d'habitants furent aussi contaminés par ingestion suite à l'extrême solubilité de la source.

Parmi 87 personnes particulièrement contaminées, les quantités de césium incorporé s'échelonnent entre 1 kBq et 1 GBq. La charge la plus élevée concerne un enfant de 6 ans; elle correspond à une dose engagée d'environ 6 Gray. Pour une trentaine de personnes, la dose engagée est comprise entre 0.1 et 1 Gy.

Accidents dus à des accélérateurs linéaires

Dans le secteur médical, les victimes se sont comptées parmi les malades traités. Les accidents ont été causés par des erreurs humaines, dues au non-respect des consignes et des règles de sûreté d'utilisation et de protection.

USA - 1985 - 1987

5 accidents de surdosage sur la même installation : confusion au niveau de la programmation en confondant "MV" (traitement par rayons RX) et "MeV" (traitement par électron).

Espagne - 1990

Une quarantaine de personnes ont reçu des doses trop élevées : surdosage d'un facteur 3 à 7 suite à une erreur grave dans la maintenance.

Accidents de contamination interne

On peut ranger sous la rubrique "Accidents" certaines pratiques médicales historiques telles que l'utilisation du thorostrast (thorium 232) comme produit de contraste et du radium pour traiter une très large gamme d'affections allant de la fatigabilité à l'arthrite et aux troubles mentaux.

Des milliers de patients ont été explorés par le thorostrast pendant une vingtaine d'années. Pour une administration moyenne, les doses furent estimées au environ de 7,5 Gy au foie, de 2 à 5 Gy à l'endéoste et de 2,7 Gy à la moelle osseuse.

6-3-6 Commentaire

Je propose de reprendre quelques éléments des premières conclusions (Draft Summary Report) d'un séminaire organisé par l'AIEA sur l'application d'une nouvelle norme fondamentale ("Advancements in the Implementation of the New Basic Safety Standards - Experience in Applying the 1990 Recommendations of the ICRP, Vienna, November 1995).

Technical Session 2: "Protection of the patient"

Justification

It was agreed by all participant in the discussion that the justification of a practice leading to medical exposures should be dealt with in the same way as the justification of other practice, that is “no practice involving exposure to radiation should be adopted unless it produces sufficient benefit to the exposed individuals or to the society to offset the detriment it causes”. In radiotherapy, justification is based on a fine balance between the benefit of cure or palliation of the disease, and deleterious side-effects including acute and chronic radiation detriment.

It was also pointed out that the correct use of justification criteria does not require money or expensive equipment, just thought. Justification of medical exposure is in the responsibility of the medical profession; or better, of an individual physicians and his/her individual patient. Justification of a broad practice may not be sufficient as justification of an individual procedure. For all medical exposures at the level of the individual procedures there should be a sound clinical indication. Even the referring physician, not performing the study personally, must be appropriately be trained in basic radiation protection questions; only the he/she are able to prescribe a procedure including medical exposure of the patient.

Optimisation

It was considered that the optimisation is the main way to practically improve of radiation protection of the patients.

It was demonstrated that the optimisation of patient protection can be improved by comparing local practice against guidance levels of dose for patients.

Postface

Depuis la présentation faite le 6 juin 1997, on notera la publication de:

- l'Arrêté Royal du 25 avril 1997 (M.B du 12.07.97) concernant la protection des travailleurs contre les risques résultant des rayonnements ionisants;
- l'Arrêté Royal du 2 octobre 1997 (M.B. du 23.10.97) modifiant l'A.R. du 28 février 1963 et portant mise en vigueur partielle de la loi du 15 avril 1994 relative à la protection de la population et de l'environnement contre les dangers résultant des rayonnements ionisants et relative à l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire;
- la directive 97/43/EURATOM du 30 juin 1997 (J.O. des Communautés européennes 9.7.97) relative à la protection sanitaire des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants lors d'expositions à des fins médicales, remplaçant la directive 84/466/EURATOM de 1984.

A.R. du 25 avril 1997

Cet arrêté étend l'obligation de contrôle médical pour inclure les travailleurs des entreprises extérieures en vue de leur accorder une protection médicale équivalente à celle assurée obligatoirement pour les travailleurs de l'entreprise et remédier aux éventuelles déficiences de leur propre employeur. Cet A.R. n'est pas une modification de l'A.R. de février 1963. En ce qui concerne le service de contrôle physique de l'entreprise, la mission est étendue dans les domaines suivants:

1. effectuer la comptabilité nominative des doses pour tout travailleur appartenant à l'établissement;
2. organiser le suivi dosimétrique opérationnel de chaque travailleur extérieur au cours de la période d'intervention;
3. transmettre sans délai les doses individuelles au service médical du travail de l'établissement et à l'employeur de l'entreprise extérieure et le cas échéant au médecin choisi par le travailleur indépendant.

A.R. du 2 octobre 1997

Cet arrêté assure la transposition des directives 84/466, 89/618, 90/641 et 92/3 du Conseil des Communautés Européennes.

Dans le domaine qui nous intéresse, il présente une refonte complète du chapitre VI de l'A.R. du 28 février 1963, concernant les applications médicales des radiations ionisantes et comprenant les articles 50 à 55 déjà étudié plus haut.

Le champ d'application (art. 50.1) est étendu à l'utilisation de substances radioactives mises en oeuvre sous forme scellée ou non ainsi qu'à l'utilisation des appareils de densitométrie osseuse.

Il redéfinit les conditions d'agrément des appareils destinés au diagnostic et à la thérapeutique qui seront d'un type approuvé par l'Agence ou sont porteurs du marquage CE conformément aux dispositions de la directive 93/42/CEE.(art. 51.1)

Il définit la fonction d'expert agréé en radiophysique (art. 51.3) pour la radioprotection du patient dans les établissements comprenant des installations de radiologie, de radiothérapie ou de médecine nucléaire in vivo. Leur rôle consiste en l'organisation et la surveillance des mesures nécessaires pour

assurer la radioprotection du patient et le contrôle de qualité de l'appareillage utilisé. Le nombre d'experts en radiophysique sera fonction de la nature et du volume des missions à accomplir. Toutefois, au moins un expert à temps plein doit être attaché à chaque service de radiothérapie. Les critères d'agrément concernent tant le diplôme de base que la compétence acquise dans un ou plusieurs domaines: la radiothérapie, la médecine nucléaire, la radiologie. L'expert est tenu d'entretenir et de développer ses connaissances et sa compétence, dans le cadre d'une formation continue de niveau universitaire.

L'article 53 reprend les dispositions générales concernant les utilisateurs et redéfinit les conditions d'agrément, de formation appropriées. Il fixe en outre une date de référence pour l'application de ces nouveaux critères. Les médecins agréés porteur du titre particulier de médecin spécialiste en radiodiagnostic, en radiothérapie ou radio- et radiumthérapie, et les praticiens qualifiés pour exercer l'art dentaire, agréés avant le 1 juillet 1994, sont considérés comme ayant satisfait aux conditions de formation décrites dans l'A.R.

La directive 97/43

La directive complète la directive 96/29/EURATOM et s'applique aux expositions à des fins médicales suivantes:

- a) l'exposition de patients au titre d'un diagnostic ou d'un traitement médical personnel;
- b) l'exposition de personnes dans le cadre de la surveillance médicale professionnelle;
- c) l'exposition de personnes dans le cadre de programmes de dépistage médical;
- d) l'exposition de personnes en bonne santé ou de patients participant volontairement à des programmes de recherche médicale et biomédicale, diagnostique ou thérapeutique;
- e) l'exposition de personnes dans le cadre de procédures médico-légales.

Elle s'applique également aux personnes qui, en connaissance de cause et de leur plein gré (en dehors de leur profession) participent au soutien et au réconfort de personnes soumises à des expositions à des fins médicales.

Elle définit la notion de responsabilité médicale: responsabilité attribuée à un praticien en matière d'expositions médicales individuelles, notamment la justification, l'optimisation, l'évaluation clinique du résultat, la collaboration avec d'autres spécialistes et le personnel (le cas échéant) sur le plan des aspects pratiques, la collecte d'informations sur des examens antérieurs si cela s'avère nécessaire, la fourniture à d'autres praticiens et/ou médecins ordonnateurs d'informations et/ou de dossiers radiologiques, la fourniture éventuelle d'informations aux patients et aux autres personnes concernées sur les risques des rayonnements ionisants.

Elle introduit la notion d'audit clinique, examen ou passage en revue systématique des procédures radiologiques médicales qui vise à améliorer la qualité et le résultat des soins administrés au patient. Ceci est réalisé par un examen structuré dans le cadre duquel les pratiques, les procédures et les résultats radiologiques sont comparés à des référentiels convenus de bonnes procédures radiologiques. Il donne lieu à la modification des pratiques, si cela s'impose, et à l'application de nouveaux référentiels en cas de nécessité.

L'expert en physique médicale est un expert de la physique ou de la technologie des rayonnements appliquée aux expositions relevant du champ d'application de la directive, dont la formation et les qualifications sont reconnues par les autorités compétentes. Selon les cas, I: agit ou prodigue des conseils concernant la dosimétrie des patients, le développement et l'utilisation de techniques et d'équipements complexes, l'optimisation, l'assurance de qualité, y compris le contrôle de qualité, et d'autres questions liées à la radioprotection en ce qui concerne le champ d'application de la directive.

Les Etats Membres doivent veiller à ce que les praticiens reçoivent une formation théorique et pratique appropriée aux fins des pratiques radiologiques et soient dûment compétent en matière de radioprotection.

D'autres prescriptions concernent les équipements: surveillance, inventaire, assurance qualité, réception avant première mise en service, suivi régulier et aussi après un entretien important.

L'accent doit aussi être mis sur la prévention des expositions potentielles. Toutes les mesures raisonnables pour réduire la probabilité et l'amplitude des doses accidentelles ou non intentionnelles reçues par le patient dans le cadre de pratiques radiologiques doivent être prises en tenant compte des facteurs économiques et sociaux. L'accent doit être mis principalement sur l'équipement et les procédures utilisées. Les consignes de travail et les protocoles écrits ainsi que les programmes d'assurance de qualité revêtent une importance particulière à cet égard.

La directive 84/466/EURATOM est abrogée avec effet au 13 mai 2000.

Pour en savoir plus

D.J. Gambini, R. Garnier “**Manuel pratique de radioprotection**”

Technique & Documentation - Lavoisier, 1992, ISBN: 2-85206-795-1

H. De Choudens, G. Troesch, ”**Introduction à la radioprotection**”

Société Française de Radioprotection, 1990, ISBN: 2-901281-00-1

James E. Turner, “**Atoms, Radiation, and Radiation Protection**”

Pergamon Press, 1986, ISBN: 0-08-031937-8

Jacob Shapiro, “**Radiation Protection: A guide for Scientists and Physicians**”

Third Edition, Harvard University Press, 1990, ISBN: 0-674-74586-8

ICRP Publication 26, “**Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**”

Annals of the ICRP, Vol. 1, N° 3, 1997, ISBN: 0-08-021511-4

ICRP Publication 60, “**1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**”

Annals of the ICRP, Vol. 21, N° 1-3, 1991, ISBN: 0-08-041144-4

ICRP Publication 73, “**Radiological Protection and Safety in Medicine**”

Annals of the ICRP, Vol. 26, N° 2, 1996, ISBN: 0-08-042738-3

Dr. Michel Bertin, “**Les effets biologiques des rayonnements ionisants**”

Electricité de France, GEDIM/SODEL, 1991, ISBN: 2-9011281-00-1

Otto G. Raabe (Editor), “**Internal Radiation Dosimetry**”

Health Physics Society, 1994 Summer School, ISBN: 0-944838-47-2

“International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources”

IAEA Safety Series N° 115-I, 1994, ISBN: 92-0-100195-9

J.C. Nénot, **“Bilan des accidents radiologiques en médecine”**

Conférence Internationale “Radioprotection et Médecine”, Montpellier, 28-30 juin 1995

B.F. Wall, **“Relevance of dose constraints for medical exposures”**

Conférence Internationale “Radioprotection et Médecine”, Montpellier, 28-30 juin 1995

C. Zuur, **“Radiological protection and safety in medicine - Implementations of the latest ICRP recommendations in medicine”**

Conférence Internationale “Radioprotection et Médecine”, Montpellier, 28-30 juin 1995

Dr. H. Eriskat, **“Regulations on radiation protection of patients and medical staff in the european union”**

Conférence Internationale “Radioprotection et Médecine”, Montpellier, 28-30 juin 1995

B. Aubert, **“Les seuils pratiques en milieu hospitalier”**

Radioprotection, Vol. 29, N° 4, pp. 503-516, 1994

Ch. Lefaure, **“Gérer le risque radiologique: ALARA, un principe, une obligation, un état d’esprit”**

RGN, N° 6, pp. 427-429, Novembre 1995

“Release of patients administered radioactive materials”

Draft Regulatory Guide DG-8015, US Nuclear Regulatory Commission, June 1994

J.R. Gill, **“Overexposure of patients due to malfunctions or defect in radiation equipment”**

Radiation Protection Dosimetry, Vol. 43, N° 1/4, pp. 257-260 (1992)

“Radioprotection in radioactive iodine therapy”

Report from the Radioprotection Commission, Société Belge de Médecine Nucléaire

J. Belge Radiol., 63, pp. 713-717, 1980

“ALARA, from theory towards practice”

Commission of the European Communities, Report EUR 13796, 1991, ISBN: 92-826-3274-1

C. Lefaure, G. Abadia, B. Aubert, **“Peut-on parler d’optimisation de la radioprotection dans les domaines médical et industriel non électronucléaire en France ?”**

Radioprotection, Vol. 30, n° 1, pp. 25-46, 1995

H. Vanmarcke, L. Baugnet-Mahieu, J.P. Culot, P. Govaerts, L. Holmstock, **“Rayonnements ionisants - Effets de faibles Doses”**

NIROND - 96-03, ONDRAF, 1996

Samenvatting

Na de huidige reglementering aangehaald te hebben en de aanbevolen dosislimieten zowel door het ICRP 60 als de praktische aspecten door de nieuwe Europese reglementering van het toezicht op het vlak van de medische toepassingen worden onderzocht. Na een snelle overvlucht van de professionele blootstellingen in het medisch domein zullen de medische blootstelling en de bescherming van de patiënt worden onderzocht. In het kader van de laatste publicaties 60 en 73 van het ICRP worden de beginselen van justificatie en optimalisatie aangehaald alsook de potentiële blootstellingen door het onderzoek o.m. van de ongevallen in de radiotherapie, hetzij uitwendig, hetzij metabolisch.

Abstract

After having evoked the present regulations and the recommended dose limits such as by the ICRP 60 as by the new European regulation, practical aspects of monitoring the exposure in the field of the practical medical applications will be examined. After a short survey of the professional exposure in the medical field, the medical exposure and the protection of the patient will be examined within the frame of the latest publications 60 and 73 of the ICRP.

The principles of justification and optimisation will be evoked and the potential exposures while examining among others the accidents met in the radiotherapy either external or metabolic.

DOSIMETRIE BIJ HET GEBRUIK VAN EEN LOODSCHORT

H. Mol*†, I. De Luyck*, S. Vandenbranden†, G. Eggermont†, R. Van Loon*

* Eenheid Quarad, VUB, Brussel

† Dienst Fysische Controle, VUB, Brussel

Correspondentie adres: VUB

Dienst Fysische Controle

Laarbeeklaan 103

1090 Brussel

Samenvatting

In België wordt bij gebruik van een loodschort in de radiologie, de persoonlijke dosimeter van de werkers gedragen onder de schort. Dat de dosimeteruitlezing in deze gevallen een onderschatting geeft van de effectieve dosis is welbekend in de literatuur.

Voor de hier beschreven studie droegen 17 medewerkers van de dienst radiologie in het AZ VUB in Brussel in 1996 gedurende een periode tussen de 2 en de 12 maanden een tweede dosimeter op de loodschort. De effectieve dosis voor deze werkers werd bepaald aan de hand van beide dosimeteruitlezingen volgens drie in de literatuur beschreven methodes.

De auteurs concluderen dat het meten van de dosis met één dosimeter onder de schort een onderschatting geeft van de effectieve dosis met een factor 1,5 tot 5. Bij gebruik van een loodschort is de huidige dosis limiet voor de ooglenzen van 150 mSv de beperkende factor in plaats van die voor het hele lichaam (50 mSv). Wanneer slechts één dosimeter wordt gedragen onder de loodschort kan de dosis op de ooglenzen niet nauwkeurig worden geschat. Bij veelvuldig gebruik van een loodschort is daarom het gebruik van twee dosimeters aangeraden.

Doel van het Onderzoek

Het hier beschreven onderzoek werd uitgevoerd in het Academisch Ziekenhuis van de Vrije Universiteit Brussel (AZ-VUB) en had tot doel een methode te vinden waarmee op een eenvoudige manier een betrouwbare schatting van de effectieve dosis voor het personeel kan worden gegeven.

Inleiding

Bij een goede radiologische praktijk bevinden de radiodiagnost en/of de technoloog medische beeldvormer zich achter een beschermende wand of scherm tijdens het uitvoeren van een onderzoek. Voor een aantal situaties is dit echter niet mogelijk. In de interventionele radiologie, moet de medische staf omwille van de interventie naast de patiënt staan tijdens fluoroscopisch onderzoek. Voor het helpen van oudere of 'lastige patiënten' of voor het vasthouden van kinderen is het soms nodig om tijdens het onderzoek dicht in de buurt van de stralingsbron te staan. Voor de betrokkenen betekent

dit een verhoogde blootstelling aan straling, voornamelijk stroostraling. Als bescherming tegen deze blootstelling wordt over het algemeen een schort met loodafscherming gedragen.

In België zijn personen die een dosis kunnen ontvangen hoger dan drie tienden van de jaarlijkse limietdosis voor beroepshalve blootgestelde personen (d.w.z. meer dan 15 mSv) verplicht om een dosimeter te dragen ter hoogte van de borst.

Bij het gebruik van een loodschort als bescherming tegen straling in de radiologie is de waarde, afgelezen van de persoonlijke dosimeter sterk afhankelijk van de plaats waar de dosimeter gedragen wordt, zoals door verschillende onderzoekers is aangetoond [1,2,3]. Wanneer de dosimeter, zoals dit over het algemeen in België de gewoonte is, onder de loodschort wordt gedragen maakt men een onderschatting van het effectieve dosisequivalent. De blootstelling van een aantal niet door de schort beschermde lichaamsdelen (hoofd, armen, knieën) wordt immers onderschat. Draagt men daarentegen de dosimeter boven de loodschort (zoals dit de regel is in een aantal ons omringende landen) overschat men vanzelfsprekend de dosis. In de huidige Belgische praktijk waar de dosis voor radiologische werkers altijd onder de loodschort wordt gemeten, zullen de statistische gegevens over de stralingsbelasting een onderschatting geven.

Door het verschijnen van het ICRP60 rapport in 1991 heeft de problematiek van de personeelsdosimetrie een nieuwe dimensie gekregen. Het comité adviseert in haar rapport om de maximale limiet voor blootstelling per jaar voor beroepshalve blootgestelde personen te verminderen van 50 tot 20 mSv per jaar. Daarnaast, en misschien belangrijker voor de radiologie, wordt er een nieuwe dosimetrische grootheid ingevoerd: de effectieve dosis. Deze grootheid lijkt op het eerste gezicht veel op de vroegere maat van de ICRP: het effectieve dosisequivalent, maar het aantal organen dat voor de berekening van de effectieve dosis in beschouwing wordt genomen is toegenomen. De gewichtsfactoren voor de organen zijn grondig herzien. Dit heeft tot gevolg dat de effectieve dosis altijd lager is dan het effectief dosis equivalent berekend voor dezelfde blootstellingsmodaliteiten. Voor de dosis tengevolge van gamma straling met energieën lager dan 100 kV (zoals het geval bij stroostraling in de radiologie) is dit verschil het grootst (tot 68%) [4]. Deze lagere waarde is natuurlijk positief, al gaat ze gepaard met een gelijktijdige vermindering van de dosislimieten. Een neven effect is echter dat niet langer enkel de effectieve dosis de limiterende factor is voor de stralingsprotectie, maar dat het belang van de dosislimieten voor de huid (handen), en de ooglenzen toe zal nemen [5]. Dit stelt nieuwe eisen aan de gebruikte dosimetrische procedures.

In de literatuur vindt men verschillende methodes voor het bepalen van de dosis voor radiologische werkers. Ze beschrijven correctiemethodes bij meting van de dosis onder de loodschort, boven de loodschort, of voor meting van de dosis met twee dosimeters: één onder en één boven de schort. Al deze methodes hebben voor- en nadelen.

Voor- en nadelen van dosimetrie systemen

De meting van de dosis onder de loodschort heeft als voordelen dat de methode erg eenvoudig blijft, en dat ze eenduidig is voor alle werknemers. Men kan de dosimeter onder alle omstandigheden op de werkkledij laten hangen. Indien nodig trekt men daar

de loodschort over aan. De onderschatting die men maakt door niet te corrigeren wordt door sommige onderzoekers klein geacht; een factor twee [6].

Het dragen van de dosimeter onder de schort geeft zonder correctie een onderschatting van de effectieve dosis. Een groter nadeel is echter dat door de lage meetwaarden onder de loodschort een grote onnauwkeurigheid in de meting ontstaat. Door de lage meetwaarden verliest men informatie over de dosis indicatie voor de ooglens. Wanneer de gemeten dosis kleiner is dan een zekere drempelwaarde vermelden veel dosimetrie-instituten een "nul" op de maandelijke tabel. Dit kan de gebruikers demotiveren. Zij weten immers dat ze blootstaan aan straling, daar ze dichtbij de bron werken. Als hun dosimeter nul aangeeft kan dit leiden tot verlies aan vertrouwen in het systeem .

Het dragen van de persoons dosimeter op de loodschort heeft als grote voordeel dat men een hoge meetwaarde verkrijgt. Hierdoor is een nauwkeuriger correctie mogelijk en behoud men informatie over de dosis op de thyroïde, ooglens en de huid. Nadelen zijn dat zonder correctie een grote overschatting van de dosis wordt gemaakt en dat een grotere discipline van vereist is van de betrokken personen. Er is toezicht vereist op de correcte positionering van de dosimeter, iedere keer wanneer men een loodschort draagt. Voor personen op een angiografie afdeling, die altijd een loodschort dragen, is een persoonlijke loodschort aangewezen.

Wanneer men twee dosimeters draagt, één onder en één boven de loodschort kan een nauwkeurige bepaling worden uitgevoerd van de effectieve dosis voor een breed scala van exposiecondities (kV, projectie, onder- of boventafelbuis). Daar men ook hier een persoonsdosimeter boven de schort draagt, behoudt men de informatie over de dosis op de ooglens en de schildklier. De verhouding tussen de persoonsdosis onder en boven de loodschort gemeten is ongeveer constant voor een bepaalde beroepsactiviteit. Hierdoor heeft men controle over het correcte gebruik van de dosimeters. Nadelen van de methode zijn dat men meer dosimeters nodig heeft (extra kosten) en dat het een zekere discipline van de gebruikers vereist om deze correct te dragen.

Tabel 1 geeft een overzicht van de voor- en nadelen van de verschillende methodes.

De drie correctiemethodes

1. Wambersie en Delhove [6].

Deze onderzoekers stellen in hun artikel voor om de personendosis te meten met twee dosimeters, één onder en één boven de loodschort. Beide dosimeters worden gedragen ter hoogte van de borst. Uit de uitlezing van de dosimeters kan de effectieve dosis E berekend worden met:

$$E = H_O + \frac{1}{10} H_B \quad (1)$$

Waarin H_O en H_B de diepte dosis is gemeten door de dosimeter onder, respectievelijk boven de loodschort.

De onderzoekers stellen in hun artikel dat deze formule een conservatieve schatting geeft van de effectieve dosis. De factor $1/10$ in de formule verantwoorden zij met de volgende argumenten:

- Als men het risico op leukemie beschouwt, is de fractie van het rood-beenmerg welke niet door de loodschort wordt beschermd zeker minder dan 10%.

- De gezamenlijke gewichtsfactor volgens ICRP 60 van de organen die niet door de loodschort worden afgeschermd is 0,20. De geïntroduceerde factor $1/10$ betekent dus een veiligheidsmarge van ongeveer een factor 2.

2. *Rosenstein en Webster.*

Webster formuleerde in 1989 een formule om vanuit de meting met twee dosimeters, één onder en één boven de loodschort, een schatting te geven van het effectief dosis equivalent [2]. In 1994 publiceert hij samen met Rosenstein hiervan een versie aangepast aan de nieuwe grootheid effectieve dosis [3]. De formule luidt nu:

$$E = 0.5H_O + 0.025H_B \quad (2)$$

waarin:

H_O de dieptedosis is gemeten onder de loodschort ter hoogte van het middel.

H_B de dieptedosis is gemeten boven de loodschort op de kraag

De factoren 0.5 en 0.025 zijn bepaald door resultaten van theoretische berekeningen door Faulkner en Marchall [7] voor het verband tussen E, H_O en H_B voor diverse situaties in te vullen in de formule

$$E = aH_O + bH_B \quad (3)$$

De factoren a en b werden zodanig gekozen dat een minimale afwijking van E werd verkregen voor H_O en H_B waarden over het gehele betrokken kV bereik, voor diverse loodschortdiktes en voor onder- en boventafel buizen. De formule geeft de meest precieze resultaten voor een buisspanning van 90 kV, een ondertafelbuis en een loodschort van 0.5 mm lood equivalent.

3. *Huyskens, Franken en Hummel* [8]

Deze groep heeft aan de hand van theoretische modellen het verband berekend tussen de persoonsdosis onder de schort, boven de schort en de effectieve dosis. Men heeft dit niet alleen gedaan voor verschillende buisspanningen en verschillende looddiktes van de schort, maar ook voor verschillende projecties van de strooistraling op die schort, en voor verschillende modellen van schorten. Men gaat er van uit dat, met name bij interventionele radiologie de radiologische werker niet altijd frontaal naar de stralingsbron toegericht staat. Deze veronderstelling wordt bij de twee andere hier besproken methodes gemaakt. Wanneer ook laterale en PA projecties in beschouwing worden genomen is het type schort van belang. De dosis varieert voor een “rondom”-schort, een voorschoot of een schort met een dubbele overslag aan de voorkant. De resultaten van de berekeningen zijn niet samengevat in een formule, maar worden voorgesteld in tabellen en grafieken. Afhankelijk van de individuele situatie - kV-gebied, type schort, projectie - kan men een “divider” of “multiplier” waarde bepalen om de persoonsdosis te corrigeren. Indien men de persoonsdosimeter onder de schort draagt zal men de uitlezing met een “multiplier”-waarde moeten vermenigvuldigen, daar men immers een onderschatting maakt. Draagt men de dosimeter op de loodschort, dan moet door een “divider” gedeeld worden.

Methode

Op de afdeling radiologie van het AZ-VUB droegen in 1996 gedurende 12 maanden 11 personen naast hun reguliere persoonsdosimeter onder de loodschoort een tweede dosimeter op hun loodschoort. Zes andere personen deden hetzelfde, maar over een kortere periode.

Voor de dosimetrie werden standaard TLD dosimeters voor personendosimetrie gebruikt, geleverd en uitgelezen door het SCK in Mol.

Aan het begin van de experimenten waren er enkele problemen met het dragen van de dosimeters. Regelmatig terugkomende fouten waren:

- De dosimeters worden niet consequent samen gedragen of blijven in de lade.
- De dosimeters worden niet op de goede plaats gedragen. (beide dosimeters onder, of boven de schoort)
- Men liet één dosimeter op de loodschoort hangen, terwijl die schoort ondertussen ook door anderen werd gedragen.
- De individuele loodschoort hing, indien ze niet werd gebruikt met de dosimeter in een onderzoeksruijnte.

Deze ervaringen leidden ertoe dat alle medewerkers een individuele loodschoort kregen toegewezen die buiten de onderzoeksruijnten kon worden weggehangen. De hier voorgestelde resultaten betreffen de periode na de aanloopproblemen.

De uitlezingen van deze dosimeters werden gecorrigeerd naar de effectieve dosis volgens de drie hierboven beschreven methodes.

Meetresultaten en verwerking

Tabel 2 geeft een overzicht van de 17 personen die aan het project deelnamen. Voor iedere persoon is de periode gegeven waarover hij of zij twee dosimeters heeft gedragen, het type onderzoeken dat men uitvoert, of het een technoloog medische beeldvorming (tmb) of geneesheer betreft, het type schoort dat men draagt en het loodequivalent van de schoort. Indien er twee waarden worden gegeven voor het loodequivalent gaat het om een rondom schoort met een overslag aan de voorkant.

In tabel 3 zijn de dosimeter waarden gegeven onder en boven de loodschoort, gecumuleerd over 12 maanden. Hierbij zijn de waarden van personen die geen volle twaalf maanden hebben deelgenomen tot 12 maanden geëxtrapoleerd. Ook is de verhouding tussen de dosis boven en onder de loodschoort gegeven.

Tabel 4 geeft de effectieve dosis over 12 maanden, berekend volgens de drie besproken methodes. Voor de methode van Huyskens zijn de resultaten met zowel de divider als de multiplier gegeven.

De betrokken personen hebben beide dosimeters ter hoogte van de borst gedragen. De formule van Rosenstein, veronderstelt dat de dosimeter onder de loodschoort op de heup wordt gedragen en die boven de loodschoort op de kraag. De gemeten waarden corrigeerde men met behulp van figuur 1 die het relatieve verband weergeeft van de dosis op verschillende plaatsen op een persoon ten opzichte van de dosis op de kraag [9].

Formule (2) werd daardoor aangepast tot:

$$E = 0.565H_o + 0.017H_b \quad (4)$$

Gebruik makend van figuur 1 werd ook een schatting gemaakt van de dosis op de ooglens. Deze is gedefinieerd als

$$D_{ooglens} = 0.5H_B \quad (5)$$

De resultaten van deze berekeningen staan in tabel 6 samen met de waarden van H_0 .

Bespreking van de resultaten

Tabel 3 laat zien dat er een enorme variatie is tussen de dosissen van de verschillende deelnemers. Deze verschillen hebben hoofdzakelijk te maken met de uitgevoerde activiteiten. Verder valt in tabel 3 op dat in het geval 14 de gemeten dosis onder de loodschoort hoger is dan die erboven. Men kan aannemen dat hier de dosimeters niet correct zijn gedragen. Nader onderzoek, eventueel door het bevragen van de betreffende persoon is hier aangewezen. Andere opvallende resultaten zijn 8 en 9, de personen van de afdelingen cardiologie. Hierbij is de verhouding tussen de dosis boven en onder de loodschoort niet groter dan een factor 5. Deze relatief lage waarde kan te wijten zijn aan het niet correct dragen van de dosimeter, of aan het soort werk.

Tabel 4 laat zien dat de effectieve dosis sterk kan fluctueren naar gelang de formule die wordt toegepast om hem te berekenen. Naarmate de ontvangen dosis hoger wordt, komen de resultaten van de methodes van Wambersie en Huyskens (divider) dichter bij elkaar. De sterke verschillen voor lage dosissen kunnen verklaard worden door de keuze om wel of niet de dosis gemeten onder de loodschoort mee te nemen in de bepaling van de effectieve dosis. De gegevens worden minder betrouwbaar voor lage waarden. De formule van Rosenstein geeft gemiddeld als effectieve dosis de helft van wat de twee andere onderzoekers voorspellen. Mogelijk hebben de data waarop de formule van Rosenstein is gebaseerd hiermee te maken. Deze zijn afkomstig van Faulkner [7] en hadden betrekking op metingen aan een thorax fantoom. De waarden onder de loodschoort werden berekend op basis van absorptie gegevens van loodschoorten. De metingen werden enkel uitgevoerd voor de AP-projectie, in één positie van de persoon t.o.v. de tafel. Dit lijkt in het licht van de dagelijkse praktijk in een onderzoekszaal, een te beperkte aanpak. Het model van Huyskens houdt rekening met verschillende projecties. Wambersie en Delhove stellen in hun publicatie dat hun model erg *conservatief* is. Gezien de vergelijking met Huyskens is hun model eerder *realistisch* te noemen.

In tabel 5 is het gemiddelde van de effectieve dosis van Wambersie en Huyskens (divider) geplaatst naast de dosis gemeten onder de loodschoort. In de tabel kan men zien dat men over het algemeen een onderschatting maakt van de effectieve dosis door enkel de meting onder de loodschoort in beschouwing te nemen. Voor lage dosis is de mate van onderschatting niet bepaald. De dosimeter onder de schoort geeft dan immers nul. Voor hogere dosissen loopt de onderschatting van 2.8 tot 8.4. De factor 1.1 van persoon 8 wordt niet in beschouwing genomen omdat deze meting niet betrouwbaar is. De hoge waarde van 8.4 is het gevolg van het enkel dragen van een voorschoot op een angiografiezaal. Opvallend is dat de onderschatting van de dosis groter is naarmate de ontvangen dosis hoger is.

Tabel 6 toont het verband tussen de dosis onder de loodschoort en de dosis op de ooglens. Wanneer men in deze tabel de resultaten met de hoogst ontvangen dosissen in

beschouwing neemt (Nrs. 3 tot 7 en 13), dan is het verband tussen de dosis op de ooglenzen en de dosis onder de schort ongeveer een factor 15. Dit betekent dat men de limietdosis van 150 mSv per jaar op de ooglenzen bereikt wanneer de dosis gemeten onder de schort ca 10 mSv bedraagt. In deze gevallen is duidelijk dat de dosis op de ooglenzen de beperkende factor is.

Conclusies

- Meting van de dosis onder de loodschort geeft een onderschatting met een factor 1,5 tot 5. De onderschatting wordt groter naarmate de ontvangen dosis toeneemt.
- Bij meting onder de loodschort verliest men de informatie over de dosis op de ooglenzen. Bij de huidige dosimeter is die voor de ooglenzen, indien geen beschermende bril wordt gedragen, de beperkende factor bij het gebruik van een loodschort.
- Correctie van de dosis gemeten onder de schort is niet altijd mogelijk vanwege de gevoeligheidsdrempel.
- Van de drie geteste procedures voor dosiscorrectie leveren deze van Wambersie en Huyskens vergelijkbare resultaten.
- De formule van Wambersie en Delhove lijkt het eenvoudigste in het gebruik.
- Dosimetrie met één enkele dosimeter boven de loodschort verhoogt de kans op fouten door verkeerd gebruik.

Aanbevelingen

- Bij veelvuldig gebruik van een loodschort is dubbele dosimetrie aan te raden.
- De precieze interpretatie van gegevens van dubbele dosimetrie dient te gebeuren door een lokale deskundige (vb. medisch fysicus).
- Een schatting van de dosis op de ooglenzen is noodzakelijk bij veelvuldige toepassing van fluoroscopie.
- Gedetailleerde informatie over de opgelopen dosis is waardevol voor het verbeteren van de attitude van werknemers rond stralingsbescherming en draagt bij tot een veiligheidscultuur.

Woord van Dank

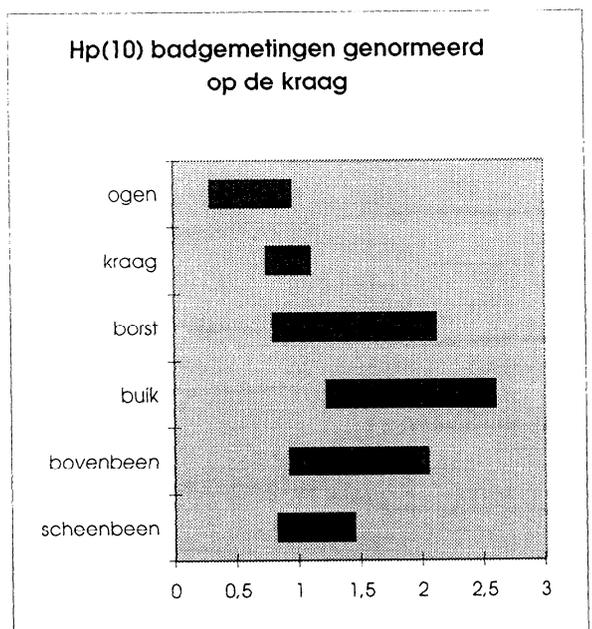
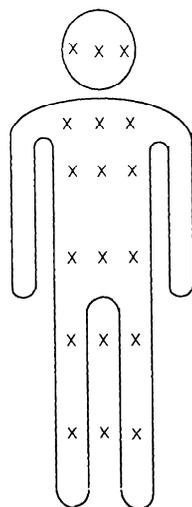
De auteurs danken de staf en de personeel van de dienst radiologie-medische beeldvorming van het AZ VUB voor hun bereidwillige medewerking aan het project.

Referenties

- ¹ Faulkner, K., Harrison, R.M., Phys Med Biol, 33,1, 1988, p 83-91
- ² Webster, E.W. ,Health Physics, 56, 4, 1989, p 568-569
- ³ Rosenstein, M., Webster, E.W. , Health Physics 67,1,1994, p 88-89
- ⁴ Zankl, M., Petoussi, N., Drexler, G. , Health Physics 62, 5, 1992, p395-399
- ⁵ Faulkner, K., J. Radiol Prot., 12, 4, 1992, p 225-231
- ⁶ Wambersie, A., Delhove, J., JBR-BTR ,76, 1993, p382-285;
- ⁷ Faulkner, K., Marchall, N.W. ,Health Physics ,64, 5, 1993, p 502-508
- ⁸ Huyskens, C.J., Franken, Y., Hummel, W.A. Proceedings IRPA Regional Congress on Radiological Protection. Portsmouth; 1994
- ⁹ WA Hummel, persoonlijke mededeling 1994.

Methode	Voordelen	Nadelen
Enkele dosimeter onder de loodschort	<ul style="list-style-type: none"> • Eenduidig • Eenduidig voor alle werknemers • Beperkte onderschatting zonder correctie 	<ul style="list-style-type: none"> • Onderschatting • Grote onnauwkeurigheid door lage meetwaarden • Verlies informatie over dosis op ooglenzen en schildklier
Enkele dosimeter boven de loodschort	<ul style="list-style-type: none"> • Hoge en daardoor nauwkeurige meetwaarden • Behoud van informatie over dosis op ooglenzen en schildklier 	<ul style="list-style-type: none"> • Grote overschatting indien geen correctie • Vereist discipline van gebruikers, of persoonlijke loodschorten
Dubbele dosimetrie	<ul style="list-style-type: none"> • Nauwkeurige schatting mogelijk van effectieve dosis voor een breed scala van exposicondities • Behoud van informatie over dosis op ooglenzen en schildklier 	<ul style="list-style-type: none"> • Correctie is noodzakelijk • Vereist discipline van gebruikers, of persoonlijke loodschorten

Tabel 1: Voor- en nadelen van drie dosimetriesystemen.



Figuur 1: Dosis als functie van de plaats van de dosimeter (naar Hummel 1994)

Nr	periode	dienst	functie*	typeschort	mm Pb
1	12 mnd	peadiatric	tmb	rondom	0.5 - 0.25
2	12 mnd	peadiatric	tmb	rondom	0.5 - 0.25
3	12 mnd	digestieve	tmb	rondom	0.5 - 0.25
4	12 mnd	digestieve	tmb	rondom	0.5 - 0.25
5	12 mnd	digestieve	tmb	rondom	0.5 - 0.25
6	12 mnd	angio	radioloog	rondom	1.0 - 0.5
7	12 mnd	angio	tmb	voor	0.35
8	12 mnd	cardio	cardioloog	rondom	0.5 - 0.25
9	12 mnd	cardio	tmb	rondom	1.0 - 0.5
10	12 mnd	mobiel	tmb	rondom	0.5 - 0.25
11	12 mnd	gastro	tmb	rondom	0.5 - 0.25
12	10 mnd	gastro	uroloog	rondom	0.5 - 0.25
13	8 mnd	gastro	uroloog	rondom	0.5 - 0.25
14	2 mnd	gastro	tmb	rondom	0.5 - 0.25
15	2 mnd	gastro	tmb	rondom	0.5 - 0.25
16	2 mnd	gastro	tmb	rondom	0.5 - 0.25
17	9 mnd	CT	tmb	voor/rondom	0.3/ 0.25

Tabel 2: Gegevens deelnemers dosimetrie programma
(tmb: technologen medische beeldvorming)

Nr	Ho	Hb	Ho/Hb
1	0	10.8	-
2	0.25	5.85	23
3	3.87	107	28
4	3.15	112	36
5	1.97	73.5	37
6	1.99	83.5	42
7	0.21	11.1	52
8	1.70	8.95	5.2
9	2.44	10.8	4.4
10	0.40	10.5	26
11	0	2.15	-
12	0	0.45	-
13	1.16	24.1	21
14	1.14	0	0
15	0	0.60	-
16	0	2.70	-
17	0.48	4.80	10

Tabel 3: cumulatieve dosimeter uitlezing over twaalf maanden onder (H_0) en boven (H_p) de loodschort in mSv.

Nr	Wambersie	Rosenstein	Huyskens (divider)	Huyskens (multipl)
1	1.08	0.18	0.98	0
2	0.84	0.24	0.53	0.75
3	14.5	3.97	14.2	15.4
4	14.3	3.65	14.9	12.6
5	9.32	2.34	9.80	7.88
6	10.3	2.52	7.26	11.9
7	1.32	0.30	2.22	0.63
8	2.60	1.11	1.19	6.80
9	3.52	1.56	0.94	14.6
10	1.45	0.40	0.95	1.20
11	0.22	0.04	0.29	0
12	0.05	0.01	0.06	0
13	3.57	1.06	3.21	4.64
14	1.14	0.64	0	4.56
15	0.06	0.01	0.08	0
16	0.27	0.05	0.36	0
17	0.96	0.35	0.44	1.44

Tabel 4: Effectieve dosis in mSv cumulatief over 12 maanden, berekend volgens 4 methodes.

Nr	Deff	HO	Deff/HO
1	1.03	0	-
2	0.69	0.25	2.8
3	14.3	3.87	3.7
4	14.6	3.15	4.6
5	9.56	1.97	4.8
6	8.78	1.99	4.4
7	1.77	0.21	8.4
8	1.90	1.70	1.1
9	2.25	2.44	0.9
10	1.20	0.40	3.0
11	0.26	0	-
12	0.06	0	-
13	3.39	1.16	2.92
14	1.14*	1.14	1.0
15	0.07	0	-
16	0.32	0	-
17	0.70	0.48	1.46

Tabel 5: Dosis onder de loodschort H_u en effectieve dosis (gemiddelde van Wambersie en Huyskens (divider) en de verhouding tussen de twee.

Nr	dienst	Ho	D(oog lens)
1	peadiatric	0.0	5.1
2		0.3	2.7
3	digestieve	3.9	49.9
4		3.2	52.2
5		2.0	34.3
6	angio	2.0	39.0
7		0.2	5.2
8	cardio	1.7	4.2
9		2.4	5.1
10	mobiel	0.4	4.9
11	gastro	0.0	1.0
12		0.0	0.2
13		1.2	11.3
14		1.1	0.0
15		0.0	0.3
16		0.0	1.3
17	CT	0.5	2.3

Tabel 6: Dosis op de oog lens ($D_{\text{oog lens}}$) en de dosis gemeten onder de loodschort H_0 in mSv.

Résumé.

En Belgique, en radiologie le dosimètre personnel est porté en-dessous du tablier plombé si l'on en porte un. Il est signalé dans la littérature que les lectures du dosimètre dans ce cas mènent à une sous-estimation de la dose effective.

Dans cette étude, 17 personnes travaillant dans le département de radiologie de l'hôpital; académique de la "Vrije Universiteit Brussel" ont porté un deuxième dosimètre au-dessus du tablier en plomb pour des périodes de 2 à 12 mois en 1996. La dose effective pour ces personnes a été déterminée à partir des lectures de deux dosimètres par trois méthodes décrites dans la littérature.

Les auteurs arrivent à la conclusion que en n'utilisant qu'un seul dosimètre en-dessous du tablier la dose effective est sous-estimée par un facteur 1,5 à 5. Lors de l'utilisation d'un tablier la limite de dose annuelle de 150 mSv pour le cristallin est le facteur limitant et non la dose corps entier (50 mSv). Quand un unique dosimètre est porté en-dessous du tablier, aucune estimation correcte de la dose au cristallin ne peut être faite. Les auteurs recommandent le port de deux dosimètres dans le cas où un tablier plombé est porté.

Abstract

In Belgium, when using a lead apron in radiology, the personal dosimeter is worn under the apron. It is known from several publications that the dosimeter reading obtained in such conditions leads to an underestimation of the effective dose.

For this study, 17 workers of the radiology department at the academic hospital of the Free University of Brussels (VUB), wore a second dosimeter above the lead apron in 1996 for periods varying from 2 up to 12 months. The effective dose for these workers was derived from the readings of both dosimeters using three methods previously described in literature.

The authors conclude that measurements with a single dosimeter placed under the lead apron lead to an underestimation of the effective dose by a factor of 1,5 to 5. By using a lead apron the annual dose limit of 150 mSv for the crystalline is the most important restricting factor instead of the whole body limit (50 mSv). When a single dosimeter is worn under the apron, no accurate estimation of the dose to the crystalline can be made. Therefore the authors recommend the use of two dosimeters in the case a lead apron is worn.

Arbeidsgeneeskunde in de ziekenhuizen met betrekking tot ioniserende en niet ioniserende stralingen.

Prof. Dr. L. de Thibault de Boesinghe

Directeur van de Arbeidsgeneeskundige dienst van de Universiteit Gent.

Samenvatting:

In het ziekenhuis worden zowel de patiënt, zijn familie als de werknemers van het ziekenhuis, geconfronteerd met technieken welke ioniserende en niet ioniserende stralingen voortbrengen.

Bij de ioniserende stralingen denken we aan de radiologie, diagnostische en invasieve, de beeldversterking in de operatiezalen.

Verder aan het labo en aan de dienst nucleaire geneeskunde, met ook zijn toepassingen diagnostisch en therapeutisch.

De radiotherapie- en de curietherapiediensten schijnen minder problemen te scheppen. Voorzorgsmaatregelen en beschermingsprocédés worden beschreven.

Bij de niet ioniserende stralingen vinden we de laser, de NMR, geluid, radiogolven, microgolven, trillingen en klimatologische omstandigheden.

Hoewel in principe minder gevaarlijk en minder schadelijk worden hier toch ook enkele richtlijnen voor goed gebruik uitgestippeld.

Het artikel heeft tevens tot doel de complexiteit van het onderwerp te belichten.

Inleidende begrippen.

De arbeidsgeneesheer heeft een preventieve opdracht. Hij moet de gezondheidstoestand van de werknemers nagaan. Hij moet ze voorlichten over de potentiële gevaren welke ze kunnen oplopen tijdens de uitoefening van hun werk, wat de risico's zijn van bepaalde blootstellingen.

Richtlijnen geven om deze risico's zo laag mogelijk te maken en te houden.

Hij moet raad verstrekken i.v.m. aandoeningen of onvolwaardigheden.

De werknemers een gepaste betrekking geven in functie van hun gezondheid en er voor zorgen dat ze geen gevaar kunnen betekenen voor hun collega's.

Zijn onderworpen aan het verplicht medisch onderzoek:

- minderjarigen,
- blootgestelde aan beroepsrisico's,
- werknemers welke een veiligheidsfunctie bekleden,
- werknemers die voedingswaren hanteren,
- mindervalide,
- werknemers blootgesteld aan ioniserende stralingen en fysische agentia ,
- beeldschermwerkers,
- werknemers welke manueel lasten moeten hanteren .

Dikwijls bestaat er een misopvatting tussen de termen "Arbeidsgeneeskunde en Controle Geneeskunde."

Uit wat voorafgaat is het duidelijk dat de arbeidsgeneesheer aan de kant van de werknemer staat, en verantwoording moet afleggen bij de werkgever, binnen de clausules toegestaan door het beroepsgeheim.

De controlegeneesheer is een arts, aangesteld door de werkgever, die moet nagaan in geval van afwezigheid wegens ziekte of deze afwezigheid gewettigd is. Ook de duur ervan controleert hij. Bij geschillen tussen hem en de huisarts kan steeds een scheidsrechter worden aangesteld.

De arbeidsgeneesheer heeft geen bevoegdheid in het kader van ziekenhuishygiëne. Wel kan hij door dit comité eventueel benaderd worden en om samenwerking worden gevraagd.

Fysische agentia binnen het ziekenhuis.

Wij kunnen deze onderverdelen in:

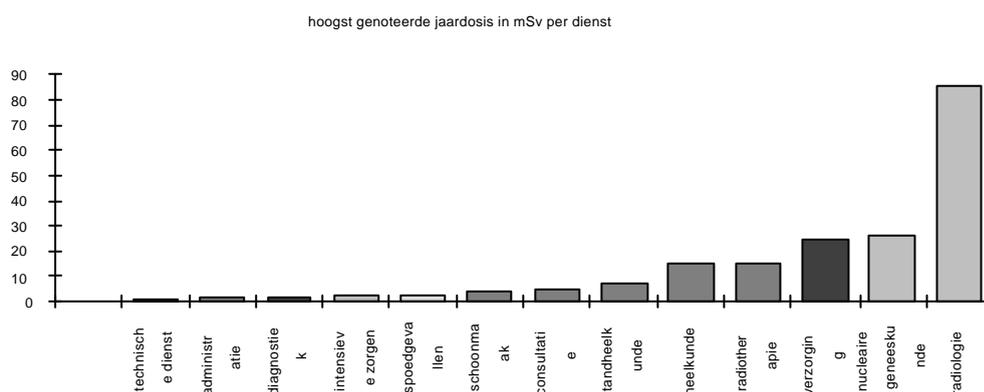
- ioniserende en niet ioniserende straling
- geluidsoverlast
- mechanische trillingen
- klimaat

Ioniserende stralingen

De aanwezigheid van bronnen van ioniserende stralingen is verspreid over verschillende diensten in het ziekenhuis.

Diensten of personen die dienen opgevolgd te worden zijn: De technische dienst, de administratie, het labo, de dienst intensieve zorgen, de spoedgevallen, de schoonmaakploeg, sommige consultatieruimten, de tandheelkunde, de radiotherapie, de verzorging, de nucleaire geneeskunde, de radiologie en de operatiezalen.

De hoogst genoteerde dosissen werden in volgende tabel geresumeerd.



Deze tabel toont zeer duidelijk welke diensten in het ziekenhuis extra dienen te worden gecontroleerd.

Valt wel op dat de ontvangen dosissen meestal volledig binnen de wettelijk norm liggen.

Zonder daarom alle diensten te willen doorlichten toch nog het volgende:

Labo's

De gebruikte tracers zijn eerder zwakke stralers, de laboranten doen aan goede protectie en beschikken in de meeste gevallen van een contaminatie detector en zorgen dat er geen contaminaties optreden.

Door gebrek aan coördinatie, gebeurt het wel eens dat bloed en urine wordt binnengebracht, reeds radioactief gecontamineerd door een tracer welke aan de patiënt in de dienst nucleaire geneeskunde werd toegediend. Een planning van de onderzoeken is dus een must.

Verder kunnen er anthologieën door trillingen worden geïnduceerd, zie later.

Radiotherapie

De afscherming, bouwkundig, is van dien aard dat in principe er geen groot gevaar is voor het personeel. De beveiligingen zijn ook maximaal.

Moderne Curietherapie zou alleen mogen gebeuren met moderne toestellen, type curietrons. Deze kunnen low of high -rate zijn. De kamers waar de patiënten hiervoor moeten vertoeven dienen aangepast te zijn aan dit soort therapie.

Radiodiagnostiek:

Hier dient een onderscheid te worden gemaakt tussen diagnostische en interventionele radiologie.

Alsook in het gebruik van vaste apparatuur versus mobiele toestellen, de beeldversterking in de operatiezalen, de coronarografie-zalen zijn hier een voorbeeld van.

Het dragen van een gepaste loodkiel, in functie van de toegepaste energie, het gebruiken van 1 of 2 dosimeters (1 boven en 1 onder de loodkiel) (indien nodig een vingertopdosimeter, en het zich voorzien van een schildklierbeschermer, zijn hier zeker noodzakelijk).

De nucleaire geneeskunde gebruikt tracers voor diagnostische en therapeutische doeleinden, dit zowel voor goedaardige als voor kwaadaardige aandoeningen

Willen we ook hier de werknemer goed opvolgen, dan dient aan adequate dosimetrie gedaan te worden.

Of een polsdosimeter of elleboogdosimeter nog extra nuttige informatie verschaft naast of in plaats van een vingertopdosimeter, is voor discussie vatbaar. Een loodkiel wordt doorgaans niet gedragen.

In de nucleaire geneeskunde is een aparte wachtkamer, met eigen toilet, voor ingespoten patiënten en niet ingespoten patiënten een nuttige beschouwing. Nochtans is er geen wet welke verbiedt in de ziekenhuizen dat de patiënten, na hun inspuiting en in afwachting van hun scintigrafie, rustig in het caféteria kunnen gaan plaats nemen, welke als openbaar en niet gecontroleerd dient te worden beschouwd.

Voor het toedienen van de radioactieve inspuiting dient er naar gestreefd, dat een inspuitingruimte hiervoor voorzien wordt.

De vloerbekleding dient uit materialen te bestaan, welke gemakkelijk eventuele radioactieve besmettingen laat verwijderen.

De ruimte waar de inspuitingen geprepareerd worden, dienen de nodige afschermingen te bieden voor de laborant-techniker, absorberend papier, loden beschermhulzen, instrumenten, zoals pincetten en tangen, met een lange afstand.

Dienen de spuiten op afstand te worden vervoerd, dan dienen ze te worden geplaatst in daarvoor speciale containers, welke de nodige looddikte hebben om een adequate bescherming te geven en beveiligd zijn tegen lekkage.

Het spreekt vanzelf dat een detector ter beschikking moet zijn.

Gebruikte naalden en spuitnaden moeten eveneens, na gebruik in een met lood beschermde container gedeponneerd worden.

Alles dient ordentelijk geordend te zijn zodat men vlug en snel kan handelen.

De lodenspuithulzen beschermen significant de verplegende die inspuit.

Bij het verlaten van het werk dienen de nucleirist en zijn medewerkers ervoor te zorgen, zelf geen bron van contaminatie te zijn voor zijn omgeving. Zij kunnen zich controleren door een monitor te gebruiken, verder moeten zij over het nodige sanitair kunnen beschikken om eventuele contaminaties te kunnen behandelen.

Best wordt zo veel mogelijk gebruik gemaakt van vloeibare zeep en papieren handdoeken. Stoffen handdoeken kunnen een bron van besmetting zijn.

De arbeidsgeneesheer heeft de plicht de ontvangen dosissen te controleren en er naar te streven dat deze zo laag mogelijk blijven.

In het kader van de moederschapsbescherming dient hij ervoor te zorgen dat een zwangere, of in periode van borstvoeding, niet wordt blootgesteld aan ioniserende straling. Dit kan soms moeilijk zijn bij het personeel welke uitsluitend ziekenvervoer doet.

In België moet, van zodra de zwangerschap bekend is, de zwangere verwijderd worden uit . In Europa denkt men 1mSv; toe te laten thv. het abdomen, gedurende de ganse zwangerschap.

ICRP. laat 2mSv toe.

Maar wat doet men met een zwangere die in het cafeteria zit naast een ingespoten patiënt, welke op zijn scintigrafie wacht? Wat doet men met de patiënt?

Bij therapeutische dosissen, waarbij de patiënt naar huis mag ,wat met de collegae op het werk?

Hoe beschermt men de algemene bevolking ,en wie moet het zich aantrekken?

Ook in dit kader dienen verdere richtlijnen te worden uitgewerkt, vooral in de curatieve nucleaire geneeskunde om het grote publiek in het algemeen en de familie in het bijzonder, te beschermen. Men denkt hierbij aan kleine kinderen. Meer en meer gebeuren de behandelingen ambulante, via dagklinieken en komt men terug van hospitalisatie gezien de kostprijs. De vraag kan gesteld worden of een behandeling er moet in bestaan de nodige dosis, in éénmaal voldoende hoog toe te dienen dan wel gefractioneerd in kleinere dosissen, om alzo de patiënt ten huize te laten vertoeven?

De specialist is hier de enige baas, de arbeidsgeneesheer kan zich vragen stellen, samenwerking of contact is meestal zoek.

Richtlijnen zouden moeten uitgaan van de regering.

Enkele voorbeelden van richtlijnen kunnen besproken worden tussen de patiënt en de arts.

- apart slapen,
- geen contact met zwangere en kleine kinderen,
- beperkte contactduur, a
- afstand tot andere (2à3m),
- grondig wassen van handen,
- verzorgde hygiëne,
- apart toilet of 2maal doorspoelen
- gebruik van apart eetgerei,
- wachten alvorens zwanger te worden
- apart badgoed en bedlinnen en apart wassen
- voldoende water drinken 2à3l per dag

- telefoonhoorn goed afvegen na gebruik..

-

Wordt een patiënt gehospitaliseerd dan dienen de kamers hiervoor aangepast te zijn. Liefst op het einde van een gang, een tussendeur om ongewenst bezoek te vermijden, aangepaste vloerbekleding, sas, sanitair, een diepvriestoilet, afzonderlijk eetgerei, telefoonverbinding en eventueel, in functie van het soort applicatie, rollend loodschermbuitendeur. Buiten de kamer dient een stralingsdetector te zijn aangebracht en eventueel de nodige commandoapparatuur voor het uitschakelen en inschakelen van curietherapieapparatuur.

Beschermkledij en coverschoeisel dienen voorradig te zijn.

Alle radioactieve afval dient verwijderd te worden en vervoerd naar de vaste afdeling volgens een goed opgesteld protocol, zodat de vervoerder niet aan straling zou worden blootgesteld.

Tenslotte valt te overwegen of in functie van het aantal prestaties, ook niet het aantal minimaal nodige personeelsleden dient te worden bepaald teneinde een dillutie van de werknemers dosis te bekomen.

Niet-ioniserende stralingen.

Laser

Het gevaar van oogbeschadiging, met verbranding van de retina is reëel bestaande.

Vandaar dat gebruik moet gemaakt worden van een beschermbril, de laser installatie moet duidelijk gesignaliseerd zijn.

Slechts 1 laser van dezelfde golflengte tegelijk in dezelfde plaats gebruiken

Voldoende verlichting bij de manipulatie, weerkaatsing dient te worden vermeden.

NMR

Het grootste risico schuilt bij de aanwezigheid van ferromagnetische voorwerpen zowel bij de patiënt als bij het personeel.

- Haarspelden, oorbellen, piercing

- Implantaten, pacemakers, kleppen, prothesen.

- Wat IUD betreft, koper zelf wordt niet door de magneet zelf beïnvloed, de vraag is of er zijn in andere metalen. Voor personeel welke chronisch te werk gesteld zijn in een NMR veld stelt zich wel de vraag of er toch geen electrolyse reacties gebeuren met het koper. eerdere studie is hier noodzakelijk.

Bij NMR is signalisatie nodig, een metaaldetector dient beschikbaar te zijn,

selectie bij het personeel en verbod op het dragen van metalenvoorwerpen dient te worden opgelegd.

Nodige instructies dienen gegeven te worden aan hulpverleners en onderhoudspersoneel.

Als blootstellingslimieten wordt voorgesteld:

- statisch veld kleiner dan 2 Tesla.

- voor werknemers 0,2T als gemiddelde waarde en gewogen in de tijd voor blootstelling van het ganse lichaam.

- 0,5T gemiddelde waarde voor ledematen.

- voor de algemene bevolking: 0,04T gemiddelde waarde voor continue blootstelling van het ganse lichaam

- 0,1 T gemiddelde waarde voor de ledematen.

Variabel magnetisch veld kleiner dan 4 Tesla.(liever 0,4W/kg).

Opteren voor actieve afscherming door installatie van een "tegen" magnetisch veld", wordt soms overwogen.

Het is aan te raden gedurende de ganse zwangerschap blootstelling aan statische magnetische velden te vermijden.

Voorzichtig zijn met de cryogene vloeistoffen welke bij lekkage, brand (vrieswonden) kunnen teweeg brengen en eventuele verstikking bij grote lekkage van vloeibaar stikstof.

Radiogolven

Radiogolven kunnen thermische effecten opwekken.

Als limieten stelt men kleiner dan 1 Watt /kg (gemiddeld voor het lichaam.)

5Watt/kg op 1gr willekeurig weefsel

Geluid

Dit wordt teruggevonden in:

De keuken, centrale sterilisatie, ultrasonen, telefoons, alarmbellen, beademingssystemen, rollende karren, elektrische pompen ,ventilatie en uiteindelijk de patiënt zelf.

Gehoorscherming moet aanwezig zijn vanaf 80dB en moet gedragen worden vanaf 85dB.

Echografie

Deze techniek schijnt geen gevaren in te houden, wel beveelt men aan, tijdens de zwangerschap de techniek niet nodeloos te herhalen.

Microgolfovens

Deze kunnen lekken, er is gewoonlijk te weinig controle.

De risico's van microgolven zijn:

- voor de ogen: cataract bij meer dan 0,1 Watt per cm²
- testikels: geen onomkeerbare schade bij minder dan 10 mWatt/cm²,
- lichaam vertoont hyperthermie vanaf 200mWatt per cm² thv de cortex ,
- lusteloosheid ,
- verminderde libido,
- slapeloosheid.

Het is wel belangrijk er op te wijzen dat microgolfovens over het algemeen een vermogendichtheid van minder of gelijk aan 10mWatt per cm² ,op 5 cm afstand van de bron leveren (lekkende deurrand).

De gevaren dienen gerelativeerd te worden.

Trillingen

Bij het gebruik van shakers, krijgt men eerst vasodillatie ,nadien vasoconstrictie geen Raynaudsyndroom.

Eventueel kunnen breuken ontstaan, ook cysten of calcificaties.

Klimaat

In de ziekenhuizen is het klimaat meestal te droog ,de verstuiver is een bron van infectie, zoals veel airconditioning systemen

De temperatuur is meestal te hoog.

BESLUIT.

De arbeidsgeneesheer heeft ongetwijfeld een belangrijke positieve rol te spelen om het welzijn van al wie in het ziekenhuis vertoeft, zowel werknemer als patiënt te optimaliseren.

Het respecteren van de voorgestelde normen werkt preventief op de gezondheidstoestand.

De problemen die rijzen, kunnen meestal met gezond verstand opgelost worden en zijn financieel haalbaar.

Litteratuurlijst:

Codex over het welzijn op het werk. Titel IV Omgevingsfactoren en fysische agentia.
KB. 25.4.97. BS.12.7.97.

Nederlandse vereniging voor nucleaire geneeskunde: Aanbevelingen nucleaire Geneeskunde Drs R.O. Boer ,Dr.K.S.Wiarda .Eburon Delft 1996.

Nucleaire Geneeskunde: inlichtingen en informatie voor patiënten en personeel.
Technologievergadering 5 december 1994

Biological effects and safety aspects of nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy:New york academy of sciences New york 1992

Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming. ARAB.

Résumé:

En milieu hospitalier le malade, sa famille et les travailleurs de l'entreprise sont confrontés à des techniques utilisant des rayonnements ionisants et non ionisants. Les techniques ionisantes sont utilisées en radiologie, diagnostique et interventionnelle, en salles opératoires, en laboratoire et en médecine nucléaire (diagnostic et le traitement). En radiothérapie et en curiethérapie, les problèmes semblent bien sous contrôle. Les procédés de prévention et de protection sont décrits. Quant aux techniques non ionisantes, quoique moins dangereuses, un règlement de bonne conduite est donné pour l'utilisation du laser, de l'NMR, du son, des ondes radio, des fours à micro-ondes, des vibrations, ainsi que des problèmes de climatisation. L'article a pour but d'illustrer la complexité du sujet.

Abstract

In the hospital, the patient, its family and workers are confronted with techniques using ionising and non ionising radiations. Ionising techniques are used in radiology, diagnostical and interventional, in radiology in operation rooms, in laboratory and nuclear medicine. In radiotherapy and curietherapy, problems are controlled: prevention and protection are described. As for non ionising radiations, less dangerous, a code of good practice such as for the laser, NMR, radiowaves, sound vibrations, climatisation is given. This article aims at underlining the complexity of the subject.

SURVEILLANCE BIOLOGIQUE, PAR ANALYSE DES ANOMALIES CHROMOSOMIQUES, DES PERSONNES AYANT PU ÊTRE EXPOSEES AUX RADIATIONS IONISANTES.

Revue de cas étudiés en Belgique de 1971 à 1996

A. Léonard¹, E.D. Léonard¹, G. Decat² et A. Hilali³

¹ Unité de Tératogenèse et Mutagenèse

UCL 72.37

Avenue E.Mounier, 72 B-1200 Bruxelles

² VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

B - 2400 Mol

³ Faculté des Sciences et Techniques

Settat, MAROC

Résumé

De 1971 à 1996 nous avons procédé à des observations cytogénétiques sur 167 personnes travaillant dans un milieu où elles sont susceptibles d'être exposées à de faibles doses de rayonnements ionisants. Le dosimètre que portaient certaines de ces personnes laissait supposer qu'elles auraient pu être surexposées.

Dans la grande majorité des cas nous n'avons observé aucune incidence anormale du taux d'anomalies typiques d'une surexposition aux radiations ionisantes. Quelques personnes montraient un taux un peu plus élevé d'anomalies que la normale mais, compte tenu du nombre de cellules analysées, ces valeurs étaient néanmoins dans la fourchette de variation que l'on peut rencontrer chez certains témoins. Chez deux personnes seulement le taux d'anomalies était augmenté de manière significative.

Le fait que dans plusieurs cas il n'y avait aucun indice cytogénétique d'une surexposition malgré les niveaux de doses mesurés par les film badges démontre que la dosimétrie biologique représente un complément important de la dosimétrie physique, surtout lorsque les conditions d'irradiation et notamment l'homogénéité de l'exposition ne sont pas précisées ou simplement pas connues.

Introduction

Les méthodes cytogénétiques sont largement utilisées depuis plus de trente ans pour évaluer les doses reçues par des personnes susceptibles d'avoir été professionnellement ou accidentellement surexposées aux rayonnements ionisants (Aitio et al., 1988).

Chez les personnes portant un dosimètre, elles constituent un complément fort intéressant de la dosimétrie physique parce qu'elles permettent non seulement de confirmer la réalité d'une

surexposition mais aussi, dans certains cas, de mieux préciser la dose reçue ou de fournir des informations sur l'homogénéité de l'exposition et sur la fraction du corps qui a été exposée (Hilali et al., 1991). Chez les personnes qui ne portaient pas de dosimètre par oubli ou parce qu'elles ne risquaient pas, de par leur profession, d'être exposées à des doses anormales de radiations, la dosimétrie biologique constitue la seule source possible d'informations sur les niveaux de dose.

La technique la plus utilisée consiste à cultiver des petits ($0,5 \text{ cm}^3$) échantillons de sang périphérique pendant 42 à 48 heures, c'est à dire un intervalle de temps garantissant que la presque totalité des cellules qui seront examinées au stade de la métaphase sont en première division et qu'il n'y a donc pas eu d'élimination sélective des cellules portant des anomalies instables. Une des anomalies chromosomiques les plus typiques d'une exposition aux radiations ionisantes est en effet représentée par les chromosomes polycentriques qui résultent de la cassure de deux ou plusieurs chromosomes et de la réunion des fragments pourvus de centromères (Figures 1 et 2). Diverses études ont démontré que la moitié à peu près de ces chromosomes dicentriques était éliminée sélectivement à chaque anaphase à cause des difficultés mécaniques engendrées par la présence de deux centromères, ce qui explique l'importance de réaliser les observations en métaphase de première division (Buckton et Evan, 1973). Les anneaux centriques résultant de deux cassures intervenant dans le même chromosome (Figures 1 et 3) représentent un autre type, moins fréquent, d'anomalies caractéristiques d'une exposition aux radiations ionisantes.

Depuis quelques années des méthodes alternatives ont été proposées dont les principales sont l'observation des micronoyaux dans des cellules binucléées (Prosser et al., 1988), l'emploi de sondes fluorescentes permettant de détecter des anomalies stables telles que des translocations (Méthode FISH pour Fluorescence In Situ Hybridisation) (Cremer et al., 1996) ou la condensation prématurée des chromosomes (Hittelman, 1982).

Ces techniques plus récentes sont encore au stade de validation sinon même de développement et il est douteux qu'elles soient un jour utilisées en routine. Il suffit à cet égard de se référer au rapport final de la Commission Européenne (Lloyd et Sevankaev, 1996) résumant les résultats (très décevants compte tenu des moyens mis en oeuvre) des études réalisées après l'accident de Tchernobyl au moyen de la méthode FISH et qui ne démontrent en rien que cette méthode très lente et très coûteuse ouvre de réelles perspectives. Ajoutons encore que le 21ème recueil des études de dosimétrie biologique effectuées de manière systématique par le National Radiological Protection Board de Grande Bretagne (Lloyd et al., 1996) est basé uniquement sur l'analyse classique des chromosomes en métaphase.

Aperçu des différents groupes de personnes qui ont été étudiées

Durant la période s'étendant de 1971 à 1996, nous avons effectué des observations sur 167 personnes susceptibles de présenter, dans les lymphocytes de leur sang périphérique, une incidence anormalement élevée d'anomalies chromosomiques caractéristiques d'une exposition aux radiations ionisantes. Les échantillons de sang nous ont été fournis par différents services médicaux belges et étrangers.

L'analyse des métaphases, après un temps de cultures de 46 heures, a été effectuée par quatre personnes travaillant en collaboration depuis plusieurs années et entre lesquelles n'existait aucune différence notable dans la manière d'analyser les préparations. Pour les cas où la chose était possible nous avons évalué l'ordre de grandeur des doses reçues en nous basant sur les courbes doses-effets

de référence établies dans notre laboratoire, et à partir des échantillons de sang irradiés in vitro, par L. Fabry (Dissertation de Doctorat, Louvain, 1983, 315 p). Un minimum de 200 métaphases de bonne qualité et possédant 46 centromères ont été analysées pour chaque patient. Lorsque la chose se justifiait et lorsque la disponibilité des observateurs le permettait nous avons examiné, pour chacun d'entre eux, 500 métaphases ou plus.

Selon les motifs de l'examen cytogénétique nous avons classé les 167 personnes en 4 catégories (Tableau 1).

- La première catégorie comprend 5 individus susceptibles d'être exposés de par leur profession mais dont le dosimètre physique n'avait jamais indiqué un dépassement des limites de dose.
- La deuxième catégorie regroupe 89 travailleurs de centrales nucléaires qui, eux non plus, n'ont jamais dépassé ni même atteint les limites de dose (Léonard et al., 1984).
- Dans la troisième catégorie nous avons placé les 26 individus qui auraient dépassé les doses autorisées et pour lesquelles on nous a fourni les valeurs indiquées par leur « film-badge ».
- Pour les 47 personnes de la dernière catégorie, les services médicaux concernés nous ont signalé qu'elles auraient pu avoir été surexposées accidentellement mais ne nous ont pas communiqué d'informations sur les doses éventuellement reçues.

Commentaires

Chez les personnes n'ayant pas dépassé les limites de dose (Tableau 2) nous n'avons observé, de fait, aucune anomalie suggérant qu'elles auraient pu être surexposées.

L'étude à laquelle nous avons procédé sur des personnes travaillant dans des centrales nucléaires depuis 1 à 29 ans (Tableau 3) a montré que si le taux de chromosomes dicentriques et d'anneaux centriques était légèrement supérieur aux valeurs observées chez les témoins étudiés en même temps (1,6 ‰ contre 1,1 ‰), il restait dans les normes rapportées dans la littérature (Aitio et al., 1983) pour les personnes non irradiées et était même inférieur à ce que nous avons observé chez le personnel des centrales utilisant des combustibles fossiles (2,2 ‰), sans cependant que cette différence soit statistiquement significative.

Chez 15 des 26 personnes pour lesquelles on nous a fourni les valeurs relevées sur les dosimètres (Tableau 4) nous n'avons observé aucune anomalie suggérant la réalité d'une surexposition alors que dans un cas (N° 101) le dosimètre indiquait 500 mGy et dans un autre (N°116) 10 890 mGy !

La fréquence des dicentriques et anneaux centriques avoisine les 1 ‰ dans les populations témoins. Les valeurs observées dans les cas positifs indiquent qu'il y a probablement en surexposition mais que les doses reçues ont sans doute été faibles (inférieures à 200 mGy).

L'absence de chromosomes dicentriques et d'anneaux centriques combinée à une fréquence anormalement élevée d'autres anomalies de structure qui a été notée dans le cas N°111, a pu être expliquée par l'examen ultérieur du dossier de cette personne : souffrant de psoriasis, ce patient était régulièrement soumis à un traitement PUVA (combinant du psoralène et des rayons ultraviolet de type A) connu pour produire de telles anomalies.

Chez 32 des 47 personnes de la catégorie 4 (Tableau 5) nous n'avons trouvé aucune anomalie nous permettant de confirmer la réalité d'une surexposition. Dans un cas (N° 134) le taux d'anomalies typiques a atteint 10 pour 500 cellules et dans un autre (N° 135) 17 pour 500 cellules. Selon les courbes de référence établies dans notre laboratoire (L. Fabry, 1983) ces taux d'anomalies correspondent respectivement à des doses moyennes de 300 et 600 mGy de rayons gamma. La présence de 3 chromosomes tricentriques chez le patient N° 135, ce qui entraîne une déviation importante de la distribution des cellules à la loi de Poisson (Hilali et al., 1991), suggère que l'irradiation n'a pas été uniforme et que cette personne a probablement été exposée localement à une dose plus élevée.

Conclusions

1. Les résultats que nous rapportons ici témoignent tout d'abord du soin apporté, par les services de radioprotection concernés, au suivi des personnes qui de par leur profession sont susceptibles d'être surexposées aux radiations ionisantes.
2. Chez les personnes (catégories 1 et 2) n'ayant pas atteint ou dépassé les limites de doses nous n'avons relevé aucune augmentation significative du taux d'anomalies typiques d'une exposition aux radiations ionisantes.
3. Chez 47 des 73 personnes (catégories 3 et 4) susceptibles d'avoir été surexposées nous n'avons relevé aucune preuve cytogénétique d'une surexposition alors que, dans certains cas, le dosimètre physique pouvait laisser supposer que ces personnes avaient reçu plusieurs centaines ou milliers de mGy. Ceci démontre que si les dosimètres physiques sont nécessaires et généralement fiables tout dépassement anormal des doses autorisées doit faire l'objet d'un examen des conditions dans lesquelles le dosimètre est porté ; de la qualité des rayonnements responsables de la dose enregistrée et être conformé par les méthodes cytogénétiques.
4. Le fait que seules deux personnes sur les 167 analysées ont montré un taux élevé d'anomalies, démontre que les surexpositions à des doses importantes sont exceptionnelles. Comme nous avons été le seul laboratoire durant de nombreuses années à pratiquer ce genre d'étude en Belgique nous pouvons également en conclure que les règlements en vigueur dans notre pays assurent une bonne protection des travailleurs susceptibles d'être exposés aux radiations ionisantes.
5. Il convient de rappeler, pour terminer, que la présence d'un taux anormal d'anomalies chromosomiques de structure dans les lymphocytes du sang périphérique n'a aucune valeur prédictive quant à la santé de ces personnes (Aitio et al., 1988).

Références

- A. Aitio, G. Becking, A. Berlin, A. Bernard, V. Foa, D. Kello, E. Krug, A. Léonard et G. Nordberg.
Indicators for assessing exposure and biological effects of genotoxic chemicals.
European Commission, EUR 11642 EN, 191 p., 1988.

- K.E. Buckton et H.J. Evans.
Methods for the analysis of human chromosome aberrations.
WHO, Genève, 66 p., 1973.

- C. Cremer, Ch. Munkel, M. Granzow, A. Jauch, S. Dietzel, E. Eils, X. J. Guan, P. S. Meltzer, J.- M. Trent, L. Langowski et T. Cremer.
Nuclear architecture and the induction of chromosome aberrations.
Mutation Research, 366, 81-96, 1996.

- A. Hilali, E.D. Léonard, G. Decat et A. Léonard.
An appraisal of the value of the contaminated Poisson method to estimate the dose inhomogeneity in simulated partial-body exposure.
Radiation Research, 128, 108-111, 1991.

- W. M. Hittelman.
Premature chromosome condensation for the detection of mutagenic activity.
dans : T. C. Hsu (Ed.), Cytogenetic assays of environmental mutagens, Allanheld Osmun, Totowa, N. J., pp. 353-384, 1982.

- A. Léonard, Gh. Deknudt, E. D. Léonard et G. Decat.
Chromosome aberrations in employers from fossil-fueled and nuclear-power plants.
Mutation Research, 138, 205-212, 1984.

- D. C. Lloyd, A. A. Edwards, J. E. Moquet, P. Finnon et P. A. Hone.
Doses in radiation accidents investigated by chromosome aberrations analysis. XXI : Review in cases investigated, 1994-1996.
National Radiological Protection Board, NRPB-R 291, 24 p., 1996.

- D. C. Lloyd et A. V. Sevankaev.
Biological dosimetry for persons irradiated by the Chernobyl accident.
European Commission, Final Report, EUR 16532 EN, 83 p.

- J. S. Prosser, J. E. Moquet, D. C. Lloyd et A. A. Edwards.
Radiation induction of micronuclei in human lymphocytes.
Mutation Research, 199, 37-45.

Tableau 1**Catégories de personnes examinées**

Catégories	Nombre de personnes
1. Personnes susceptibles d'être exposées mais sans détection de dépassement des doses autorisées.	5
2. Travailleurs de centrales nucléaires.	89
3. Personnes ayant dépassé les limites de doses et pour lesquelles nous connaissions les valeurs de la dosimétrie physique.	26
4. Personnes ayant probablement dépassé les doses autorisées mais dont les valeurs de la dosimétrie physique ne nous ont pas été communiquées.	47
Total	167

Tableau 2**Observations effectuées sur les personnes n'ayant pas dépassé les doses autorisées****(Catégorie 1)**

Patient N°	Observations cytogénétiques		
	Nombre de cellules analysées	Nombre de chromosomes dicentriques et d'anneaux centriques	Autres anomalies (fragments, translocations, anneaux acentriques, etc.)
1	200	0	2
2	200	0	2
3	200	0	1
4	500	0	0
5	200	0	2

Tableau 3**Résumé de l'étude effectuée sur des travailleurs de centrales nucléaires
(500 cellules analysées par personne)**

	Centrales nucléaires	Centrales utilisant des combustibles fossiles	Témoins
Nombre de personnes étudiées	89	49	23
Nombre total de cellules analysées	44 500	24 500	11 500
Chromosomes dicentriques et anneaux centriques	75 (1,6 ‰)	55 (2.2 ‰)	13 (1,1 ‰)
Autres anomalies	253 (5,6 ‰)	161 (6,5 ‰)	52 (4,5 ‰)

Tableau 4

Observations réalisées sur les personnes (catégorie 3) pour lesquelles nous disposons des données de la dosimétrie physique

Cas N°	Année de l'examen	Cellules examinées	Valeurs relevées sur le dosimètre (mGy)	Chromosomes dicentriques et anneaux centriques	Autres anomalies (fragments, translocations, anneaux acentriques, etc.)
95	1971	200	60	3	5
96	1972	200	25	4	16
97	1972	200	27	0	0
98	1972	200	46	0	0
99	1972	200	37	0	0
100	1977	200	20	0	0
101	1977	200	500	0	0
102	1978	200	70	2	1
103	1978	200	15	0	2
104	1979	200	86	3	7
105	1979	200	39	1	3
106	1980	200	56	2	1
107	1980	200	60	0	0
108	1980	500	80	0	0
109	1981	500	150	2	1
110	1985	200	80	0	1
111	1985	1000	200	0	15
112	1986	200	> 30/13 sem.*	1	1
113	1986	200	> 30/13 sem.*	1	0
114	1986	200	> 30/13 sem.*	1	0
115	1987	200	60	0	0
116	1988	200	10890	0	0
117	1988	200	20	0	0
118	1993	500	3000	1	0
119	1993	500	1000	0	0
120	1994	200	48	0	0

* La dose reçue en 13 semaines était supérieure à 30 mGy

Tableau 5
Observations réalisées sur les personnes (catégorie 4) pour lesquelles nous ne disposons pas des résultats de la dosimétrie physique

Cas No	Année de l'examen	Cellules examinées	Chromosomes dicentriques et anneaux centriques	Autres anomalies (fragments, translocations, anneaux acentriques)
121	1974	400	4	5
122	1975	200	3	1
123	1976	200	2	5
124	1976	200	0	2
125	1977	200	0	2
126	1977	200	0	0
127	1978	200	0	0
128	1979	200	1	2
129	1979	400	3	6
130	1979	200	0	2
131	1979	200	1	0
132	1980	200	1	0
133	1981	200	0	1
134	1982	500	10	11
135	1982	500	17	18
136	1982	500	0	2
137	1983	500	1	4
138	1984	500	0	2
139	1984	200	0	2
140	1984	200	0	0
141	1985	200	0	1
142	1985	200	0	0
143	1986	200	0	0
144	1986	200	0	0
145	1986	200	0	0
146	1986	200	0	0
147	1986	200	0	0
148	1986	200	0	0
149	1986	500	3	0
150	1986	200	0	0
151	1986	200	0	0
152	1986	200	1	0
153	1986	300	0	0
154	1986	300	0	0
155	1986	300	0	0
156	1988	200	0	0
157	1988	200	0	0
158	1988	200	0	0
159	1988	200	0	0
160	1989	500	0	0
161	1989	200	0	0
162	1989	200	0	0
163	1991	200	0	0
164	1991	500	1	0
165	1991	200	0	3
166	1991	850	4	13
167	1992	500	1	4

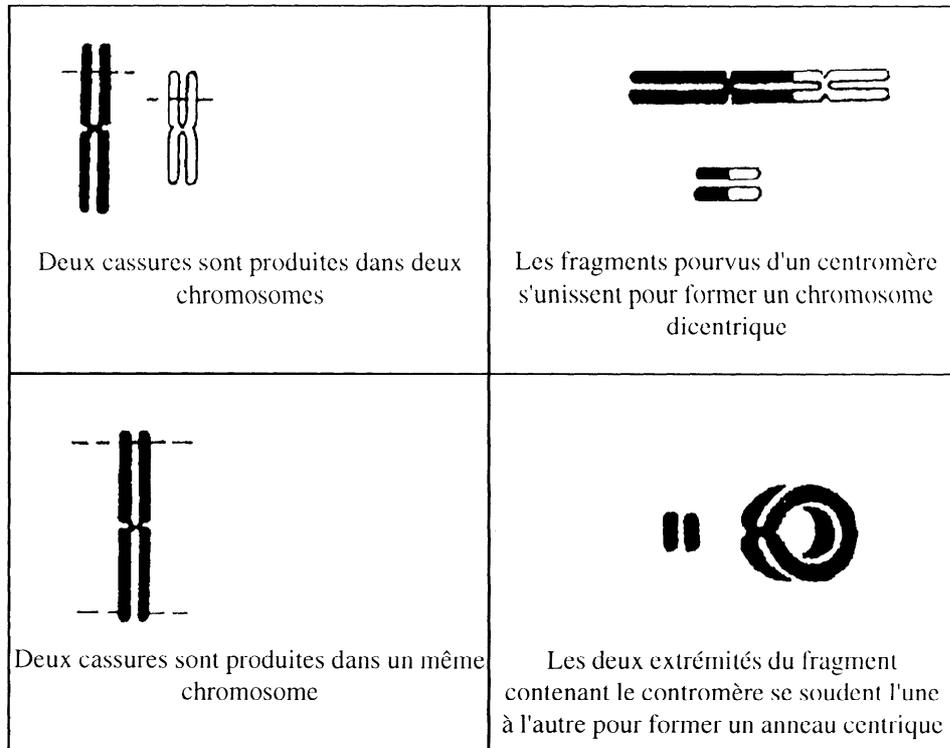


Figure 1. Représentation schématique des mécanismes de formation d'un chromosome dicentrique et d'un anneau centrique



Figure 2. Métaphase avec deux chromosomes dicentriques



Figure 3. Métaphase avec un anneau centrique

Summary

From 1971 to 1996, cytogenetic observations have been performed on peripheral blood lymphocytes from 167 persons susceptible to be professionally exposed to low doses of ionizing radiation. The personal dosimeter of some persons indicated they could have been overexposed.

Most patients, however, did not display an abnormal incidence of structural anomalies typical of an exposure to ionizing radiation. In some cases the yield of anomalies was slightly increased but remained in the range of variation reported for the controls. Two persons only showed a drastic enhancement of aberrations.

The fact that no cytogenetic confirmation was evident in several cases of an overexposure suggested by the personal dosimeters confirm the interest of biological dosimetry as a complement of physical dosimetry, mainly when the conditions of irradiation i.e. the distribution of the energy is not given or unknown.

Samenvatting

Van 1971 tot 1996 werden cytogenetische waarnemingen uitgevoerd op perifere bloedlymfocyten van 167 personen die vermoedelijk beroepshalve aan lage doses ioniserende stralingen blootgesteld werden. De dosimeter die door sommige personen gedragen werd liet een te hoge blootstelling vermoeden.

De meerderheid van de onderzochte personen vertoode geen abnormale hoge aanwezigheid van structurele chromosoomafwijkingen die kenmerkend zijn voor een blootstelling aan ioniserende stralingen.

Bij personen werd een kleine verhoging van chromosoomafwijkingen waargenomen. Deze verhoging ligt nochtans binnen de grenzen van de variaties die bij controles kunnen optreden. Slechts twee personen vertoode een sterke verhoging van de afwijkingen.

Het feit dat er in meerdere gevallen geen enkele cytogenetische aanwijzing van een verhoogde blootstelling was, ondanks dat de grootte van de doses gemeten met de filmbadges dit suggereerde, toont aan dat de biologische dosimetrie een belangrijke aanvulling betekent voor de fysische dosimetrie, vooral wanneer de omstandigheden van de stralingen en in het bijzonder wanneer de energetische distributie van de stralingen niet vermeld werden of gewoonweg niet gekend zijn.