

ISSN - 0250 - 5010

ANNALEN  
VAN  
DE BELGISCHE VERENIGING  
VOOR  
STRALINGSBESCHERMING

---

VOL. 26, N°1

2e trim. 2001

**Eerste Belgische Dag over het ALARA-principe**  
**Première Journée Belge sur le Principe ALARA**

Driemaandelijkse periodiek

Périodique trimestriel

2400 MOL 1

2400 MOL 1

---

ANNALES  
DE  
L'ASSOCIATION BELGE  
DE  
RADIOPROTECTION

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.

# Eerste Belgische Dag over het ALARA-principe Première Journée belge sur le Principe ALARA

## INHOUD SOMMAIRE

Dit nummer bevat teksten van de uiteenzettingen gedaan in Antwerpen, Radisson SAS Park Lane Hotel op 23 november 2000

Ce numéro contient les textes d'exposés présentés  
à Antwerpen, Radisson SAS Park Lane Hotel le 23 novembre 2000

### **C. LEFAURE**

L'European ALARA Network: Objectifs, réalisations & perspectives 1  
Texte non disponible

### **P. SMEESTERS**

L'évolution du principe ALARA: Un point de vue du côté des autorités 3

### **H. DRYMAEL**

Principe ALARA: Mythe ou réalité? Réflexions d'un organisme de contrôle agréé 15

### **V. LIPPENS, L. ROMBOUTS**

Een decennium ALARA-beleid in de KC Doel 31

### **T. DE BROUWER**

Pratique actuelle de la limitation des doses lors des interventions 33

### **B. ADRIAENS**

Fusion du principe ALARA et de la méthode d'analyse de risques de Kinney 37

### **A. DEBAUCHE**

La radioprotection de terrain en 2000: meilleure qu'en 1975? 43

### **R. VAN LOON**

Het ALARA-principe in de medische omgeving 51

### **A. REGIBEAU**

Optimalisation dans l'organisation de la gestion des déchets à caractère dangereux 59

### **J. CAUSSIN**

L'optimalisation de la protection radiologique au sein des Cliniques universitaires de l'UCL 71

### **G. EGGERMONT, P. COVENS, S. VANDENBRANDEN, M. SONCK**

Een balans van 7 jaar optimalisatie van stralingsbescherming en nucleair afvalbeheer  
aan VUB en AZ Jette 91

### **W. BLOMMAERT**

ALARA en ASARA: Synergie of synoniem? 115

### **P. KOCKEROLS, F. DE SMET, A. VANDERGHEYNST**

Dosisbeheer in de MOX-fabriek van Belgonucleaire 117

### **P. DEBOODT**

Dix années d'optimisation des doses au SCK●CEN: Leçons et perspectives 129

### **ERRATA**

Volume 25, n° 2, 2000, p. 107 137

**L'european ALARA Network:  
Objectifs, réalisations & perspectives**

Christian Lefaure  
CEPN, France

Texte non disponible

## **L'évolution du principe ALARA : un point de vue du côté des autorités**

Dr Patrick SMEESTERS  
SPRI

### **RÉSUMÉ**

L'exposé commence par un rappel historique de l'évolution des recommandations internationales en soulignant les résistances qui sont apparues et qui ont freiné leur mise en œuvre. Il développe ensuite deux cas particuliers où l'application du principe ALARA se heurte à des difficultés : le cas des irradiations in utero et celui des interventions. Il se poursuit par la description de certaines évolutions négatives qui se développent actuellement, pour s'achever par une réflexion sur le danger de casser la motivation des acteurs par l'envoi régulier de messages discordants concernant la base scientifique, pourtant solide, du principe ALARA.

### **L'ANCIEN CONCEPT DE DOSE MAXIMALE ADMISSIBLE : DIFFICILE À DÉRACINER**

Avant 1987, la caractéristique essentielle des normes de radioprotection dans notre pays était l'existence d'une dose maximale qualifiée *d'admissible*. La dose maximale admissible, symbolisée par les lettres DMA, était par définition la dose qui, dans l'état des connaissances du moment, n'était pas susceptible de causer des troubles appréciables à la santé au cours de l'existence.

Le corollaire de cet a priori d'innocuité était le principe du « crédit de dose », lié à la formule de calcul de la dose maximale admissible pour les travailleurs professionnellement exposés de catégorie A :

$$D = 5 (N-18)$$

où D = la dose en rem cumulée au niveau des organes hématopoiétiques et/ou des gonades

N = l'âge en années

Chaque travailleur de cette catégorie avait « droit » à une certaine dose cumulée, calculée d'après son âge. A noter qu'en irradiation globale, seules importaient les doses reçues par la moelle osseuse et les gonades, organes jugés les plus critiques quant aux effets à long terme de l'irradiation.

Cette conception « historique », proche de la notion de seuil pour les effets radioinduits, a fortement imprégné certains esprits et refait régulièrement surface. Elle facilitait à vrai dire grandement la gestion du travail des ouvriers itinérants...

## CIPR 26 : DES RECOMMANDATIONS EXIGEANTES

C'est au début de l'année 1987 que les normes de base ont été modifiées dans notre réglementation. L'impulsion datait de 10 ans déjà : elle venait de la Commission Internationale de Protection radiologique (C.I.P.R., publication n°26, 1977) (1). Les recommandations de 1977 étaient basées sur une nouvelle approche, plus cohérente, qui, entre autres choses, abandonnait la notion d'organes critiques, la remplaçant par le concept de *dose efficace*, et renonçait clairement au principe de dose admissible et à son postulat de seuil d'innocuité. Il était en effet devenu de plus en plus évident, d'une part, qu'à côté des leucémies, de nombreuses autres affections malignes pouvaient être radioinduites et d'autre part, que l'existence d'un seuil pour la radioinduction du cancer ne pouvait pas être démontrée.

S'agissant des activités en général de la société (industrie, médecine, etc), ce qu'on appelle maintenant des "pratiques", la CIPR introduisait les trois principes bien connus:

- la *justification*: un type de pratique doit être globalement justifié au niveau social pour être accepté ;
- l'optimisation ou principe *ALARA* (As Low As Reasonably Achievable): les expositions aux rayonnements ionisants doivent être aussi faibles que raisonnablement possible ;
- et *les limites de dose* : pour différentes catégories, comme les travailleurs, les femmes enceintes, le public ou les apprentis, on doit fixer un plafond de dose *par comparaison* avec ce que la société tolère pour d'autres types de risque.

Pour que cette comparaison soit valable, il faut cependant que l'exposition aux limites de dose ne soit acceptée qu'à titre *occasionnel*. Cette dernière précision, pourtant déjà claire dans la publication 26 et rappelée à diverses occasions par la CIPR, a cependant dans la suite été fréquemment « oubliée » .

L'approche ALARA a été souvent vécue comme un outil visant à une maîtrise rigoureuse des opérations, ce qui était déjà une bonne chose , mais sans empêcher pour autant que les limites de dose ne continuent à être perçues comme des doses acceptables . Cette conviction était alimentée par les querelles incessantes à propos de ce qu'on a coutume d'appeler l'hypothèse linéaire sans seuil. Ainsi la jurisprudence aux USA ne reconnaît, pour juger de la qualité de la protection des travailleurs, que le critère du respect des limites de dose et dénierait au principe ALARA tout statut de règle légale, cantonnant celui-ci à un simple principe de « philosophie professionnelle » (2).

En fait, non seulement le respect des limites de dose ne suffit pas, mais en outre le principe ALARA implique une réelle *obligation de comportement* .

## CIPR 60 : LES POINTS SUR LES I

Quoi qu'il en soit, la CIPR a remis les montres à l'heure en 1990 (recommandations de la publication 60) (3).

D'une part, les limites de dose étaient abaissées, en réponse à la découverte au sein des populations irradiées à Hiroshima et Nagasaki d'un taux de cancer radioinduit quatre à cinq fois plus élevé que prévu.

D'autre part, la CIPR soulignait plus fermement le sens à donner aux limites de dose en qualifiant de « tout juste tolérables » les expositions égales aux limites de dose et

d' « acceptables » les expositions optimisées. Elle prenait clairement position sur une absence de seuil pour les cancers et effets héréditaires radioinduits et proposait pour la première fois une valeur chiffrée de coefficient de risque lifetime pour les cancers radioinduits dans une population dans le domaine des *faibles doses et/ou des faibles débits de dose* ( $5\% \text{ Sv}^{-1}$ ).

Le système de protection radiologique pour les pratiques restait par ailleurs basé sur les principes classiques rappelés plus haut mais un nouveau concept faisait son apparition : les contraintes de dose.

## **CONTRAINTES DE DOSE : UN CONCEPT QUI FAIT PEUR.**

Le système de limitation de dose stipule donc que tout type d'exposition doit être justifié et que, si c'est le cas, les expositions (totales) subies par un individu ne peuvent dépasser certaines limites de dose et qu'en plus, même si on respecte ces limites, il faut essayer d'obtenir, pour chaque source, pratique ou tâche, une exposition aussi faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA). Dans la pratique, il est apparu que ce qui est « raisonnable » pour les uns ne l'est pas toujours pour les autres et que les jugements économiques et sociaux qui sont posés sont parfois discutables sur le plan éthique. De plus lorsque le choix se pose entre différentes options de protection, on se rend compte que la *distribution* des doses entre individus exposés peut être très différente d'un cas à l'autre : dans certains options il y a des personnes qui ne reçoivent quasi rien alors que d'autres reçoivent des doses proches des limites de dose, d'où un caractère *inéquitable* de la distribution des doses. De là est venue l'idée d'introduire des « barrières de sécurité », des « contraintes » qui limitent la liberté qui existait jusque là dans la pratique du processus d'optimisation.

Par contrainte de dose, on entend une valeur de dose *individuelle* se référant, non à l'ensemble des expositions subies par un individu (comme c'est le cas pour les limites de dose), mais aux expositions provoquées par une source, pratique ou tâche, valeur qui constitue un plafond pour le processus d'optimisation. En pratique, les contraintes de dose :

- sont par définition inférieures aux limites de dose (lorsque ces limites existent : ce n'est par exemple pas le cas dans les expositions médicales) ;
- sont basées sur la « bonne pratique » ou sur des exercices d'optimisation générique (c'est-à-dire par type de pratique) ;
- peuvent être établies par les autorités compétentes ou par les entreprises elles-mêmes comme outil de gestion : elles n'ont bien sûr pas la même signification réglementaire dans les deux cas ;
- doivent aboutir à une réelle amélioration de la radioprotection, ce qui implique une vérification rétrospective des résultats obtenus et, si nécessaire, une révision des options de protection appliquées (cela étant dit, les contraintes de dose n'ont pas la signification de limites de doses dont le dépassement peut entraîner des sanctions : ce sont plutôt des niveaux d'investigation obligatoire en cas de dépassement) .

Ce concept a fait l'objet de nombreuses discussions au niveau international, entre autres dans un but de clarification et d'harmonisation de son emploi (4), mais parfois aussi, il fait bien le constater, dans le but apparent d'en atténuer autant que possible la portée, .. et les conséquences potentielles.

## LE SYSTÈME DE LIMITATION DE DOSES SUR LE PLAN ÉTHIQUE

Sur le plan éthique, le principe ALARA est une application directe du principe de précaution: dans le *doute* sur l'existence d'un seuil et *vu la présomption* d'effets radioinduits à faibles doses, *prenons des mesures* pour diminuer le risque autant que possible. Le principe de précaution, comme il s'est développé au niveau international, ne remet cependant pas l'activité en cause. D'où l'intérêt du principe de justification: celui-ci est voisin du principe de responsabilité: comme le dit Jacques Testart, dans un article récent du Monde diplomatique, l'éthique impose parfois l'abandon pur et simple d'un projet: "est-il besoin de casser des oeufs s'il n'est point besoin d'omelette?". Quant aux limites de dose, on les justifie souvent par le principe d'équité, puisqu'on traite les radiations et les individus qui y sont soumis comme la société traite les autres risques et les autres victimes potentielles. Notons qu'il n'est pas démontré pour autant que la société traite équitablement ces autres risques...Quoi qu'il en soit, c'est encore en vertu du principe d'équité que l'on a introduit récemment les contraintes de dose.

### ALARA ET EFFETS STOCHASTIQUES : LA QUESTION DES IRRADIATIONS IN UTERO

Les mots "risque stochastique des rayonnements ionisants" évoquent clairement, dans le monde de la radioprotection, le risque de cancers et d'effets héréditaires radioinduits à *long terme*. L'adjectif "stochastique", qui signifie aléatoire, renvoie au fait *qu'on ne peut prédire qui sera atteint* de l'affection : on observe simplement que *la fréquence de l'effet augmente avec la dose*, selon une certaine courbe dose-effet, mais sans pouvoir prédire qui sera victime.

Une autre caractéristique essentielle de ces effets stochastiques est *qu'on est incapable de démontrer l'existence d'une dose seuil* en-dessous de laquelle il est certain que l'effet n'apparaîtra pas. En cela, ils s'opposent aux effets dits déterministes, qui présentent un caractère inévitable, d'où le terme déterministe, et ce au-delà d'une dose seuil . Comme ce seuil est généralement très élevé, bien plus élevé que les doses rencontrées en milieu professionnel et même dans beaucoup de situations accidentelles, la plupart associent les effets déterministes aux fortes doses et aux pathologies aiguës et, par opposition, les effets stochastiques aux faibles doses et aux effets à long terme du type cancer ou effets héréditaires. C'est oublier le problème particulier de l'irradiation prénatale!

L'irradiation du système nerveux central du fœtus entre la 8<sup>ème</sup> et la 15<sup>ème</sup> semaine après la conception produit des effets à manifestation tardive : essentiellement une diminution du quotient intellectuel. La plupart des auteurs invoquent un mécanisme déterministe mais les courbes dose-effet observées chez les survivants à Hiroshima-Nagasaki ont une allure stochastique (fonction linéaire-quadratique et absence de seuil démontrable)! Quoi qu'il en soit, les expérimentations animales autant que la nature des processus de développement embryonnaire perturbés indiquent la possibilité d'effets à dose beaucoup plus faible que celles occasionnant les effets déterministes classiques. Conclusion: on a là un effet *tardif dont la probabilité augmente avec la dose ; on ne peut prédire qui sera victime, et on ne peut pas démontrer de seuil* (ou alors celui-ci est très bas).



La conclusion devrait s'imposer : il importe de prendre cet effet en considération dans les mêmes circonstances que celles imposant une action en prévention des cancers et des effets héréditaires. La même chose pourrait être vraie pour une autre catégorie d'exposition in utero, celle qui survient au stade de l'embryon en phase de préimplantation: induction de malformations chez l'animal avec une courbe d'allure stochastique.

La gravité des pathologies, la potentialité de nuire à des enfants et l'impossibilité de démontrer un seuil imposent selon moi de faire appel, dans le cadre de l'irradiation in utero, au principe ALARA et au principe de précaution. Cette référence au principe de précaution est d'autant plus justifiée que les données s'accumulent sur l'existence d'individus génétiquement prédisposés, non seulement à la radioinduction de cancer, mais également à celle d'autres pathologies, parmi lesquelles pourraient se trouver les malformations congénitales. Des expériences à ce propos sont en cours notamment au SCK-CEN.

Au niveau de la législation de *l'Union européenne (5)*, une nette avancée éthique a été opérée puisque désormais l'être humain avant sa naissance doit être considéré, *dans le cadre de la protection au travail*, comme un membre du public involontairement exposé: il bénéficie donc des mêmes limites de dose, ce qui n'était pas le cas avant.

Par contre au niveau des Basic Safety Standards, publiés par une série d'organisations internationales (et qui ne sont pas d'application dans l'Union européenne), c'est le recul total: les limites de dose ont été supprimées pour les fœtus! Carrière des femmes oblige! Le vent responsable soufflait d'Outre-Atlantique...

Dans les recommandations internationales relatives aux situations d'intervention, la protection prénatale n'est que brièvement évoquée, pour être pratiquement aussitôt oubliée au niveau des aspects pratiques.

Enfin nous verrons plus loin que la situation laisse également à désirer dans le domaine des expositions médicales.

## **SITUATIONS ACCIDENTELLES : ALARA OU JUSTIFICATION ?**

La question des accidents doit être abordée autrement: il est difficile de parler ici de "limites" puisque celles-ci peuvent être dépassées avant même qu'on ait pu prendre la moindre mesure et puisque les données de comparaison et les risques à gérer par la société sont différents dans les situations de crise.

L'approche de la CIPR est donc la suivante: le principe de justification s'applique à la décision d'intervention: il ne faut intervenir que si l'intervention fait du bien, au bilan. Notons au passage que cette formulation décourage quelque peu d'intervenir: on pourrait faire du tort! Il serait plus moral de dire l'inverse: il ne faut s'abstenir d'intervenir que si cette inaction fait du bien! C'est en tout cas ainsi que l'opinion publique jugera ses responsables politiques. On invoque par ailleurs l'optimisation pour dire que l'ampleur et la durée de l'intervention doivent produire un maximum de

bien et, à la place de limites de dose, on définit des niveaux-guides d'intervention, dépendant des situations rencontrées. En pratique la frontière entre justification et optimisation est cependant floue dans le cas des situations d'intervention.

Pour la question des aliments contaminés, il faut ainsi tenir compte de l'importante circulation actuelle des denrées. C'est ce problème qui a imposé après Tchernobyl que les pays de la Communauté européenne, tous contaminés mais à des degrés variables, se mettent d'accord sur des niveaux *fixes* de contamination maximale qui soient en même temps des niveaux *au-dessus* desquels la commercialisation est *interdite* (pour raison sanitaire) et des niveaux *en-dessous* desquels les partenaires commerciaux devaient "raisonnablement" *accepter* la commercialisation. Ce qui revient à dire que chacun acceptait de "casser des oeufs", mais pas trop (soit le prix à payer en effets à long terme vu l'absence présumée de seuil). Situation cornélienne qui mêle justification et optimisation et qui suffit à expliquer pourquoi il a fallu tant de temps pour se mettre d'accord!

Il convient de noter par ailleurs que l'application de ces principes se heurte rapidement à des choix éthiques. La raison principale en est que la protection des individus les plus exposés (les riverains des installations accidentées, les groupes critiques de la population pour des raisons par exemple d'habitudes alimentaires,...) doit être financée par la société. Or, un tel financement peut occasionner des coûts élevés voire, si la situation dérape, entraîner des risques de déstabilisation. Certains Etats pourraient donc être tentés par des approches froidement économiques soutenues par de pieux mensonges ou de savantes omissions quant à la nature ou l'existence des risques. La protection des individus est ici directement en concurrence avec les intérêts économiques de la société.

## EVOLUTIONS EN COURS

Il est temps de jeter à présent un regard sur les évolutions en cours. Il y aurait beaucoup à dire et nous risquerions de nous égarer. J'ai dès lors délibérément opté pour attirer l'attention sur des évolutions *négatives* demandant une réaction de la part des responsables. Je développerai cette question selon quatre axes.

### ***Premier axe: les nouvelles tendances au sein de la CIPR : la remise en cause des principes de base pour la gestion des pratiques.***

La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), à l'origine des réglementations actuelles dans l'Union européenne et jusqu'ici référence mondiale incontestée, est attaquée de plus en plus par des groupes qui contestent l'hypothèse linéaire sans seuil à la base du système de protection radiologique. Le coût et le poids des mesures à prendre en vertu du principe de précaution inciteraient-ils certains à céder à la tentation de relativiser ou minimiser le risque et d'introduire toutes sortes de notions dérivées du seuil ("seuil pratique", "doses négligeables", "seuil des effets décelables"..) ? En réaction peut-être, la CIPR vient de lancer un pavé dans la mare: un nouveau système est proposé à la discussion, connu sous le nom hermétique de "controllable dose" (cette dénomination est d'ailleurs déjà abandonnée à l'heure qu'il est) (6): il y est question de renoncer au principe de justification et d'abandonner la notion de dose collective; les limites de dose comme telles passent également à la trappe, en particulier pour les personnes du public et

les foetus. Tout cela au nom d'une protection "recentrée sur l'individu". En réalité les doses collectives, malgré leur nom, concernent aussi les individus, mais en tant que quidams non identifiables susceptibles de développer un cancer radio-induit sur base de l'hypothèse linéaire de relation dose-effet, hypothèse retenue au nom du principe de précaution. Je considère ces nouvelles propositions comme un recul tant sur le plan du principe de responsabilité que sur celui du principe de précaution.

### ***Deuxième axe: la pression de certains experts pour une gestion "néo-libérale" des accidents***

Si toute la crise de Tchernobyl, et en particulier la crise alimentaire, a été gérée en se basant sur la notion de "risque acceptable" pour la population, on assiste depuis plusieurs années à une pression importante visant à introduire dans toutes les recommandations internationales une approche d'inspiration néo-libérale, qui revient à mettre en balance, au nom du principe ALARA, d'un côté les coûts sanitaires de l'inaction (cancers exprimés en unités monétaires) de l'autre le coût monétaire de l'intervention, avec un postulat de base très simple: la nécessité d'un "bénéfice net positif", ce qui signifie en clair qu'"*au bilan tout ça ne peut rien coûter à la société*". La notion de *solidarité* sociale est exclue par définition. A titre d'exemple les niveaux de contamination maximale des aliments calculés selon ces principes sont beaucoup plus permissifs. Il en est de même des niveaux de confinement, d'évacuation ou de distribution de comprimés d'iode! Tout cela se passe alors que, pour la prophylaxie iodée par exemple, il conviendrait plutôt de rabaisser sérieusement les niveaux, sur base d'une approche basée essentiellement sur des considérations *sanitaires*, à savoir la révision des facteurs de risque pour les cancers de la thyroïde radio-induits chez l'enfant, imposée par les observations faites après l'accident de Tchernobyl.

### ***Troisième axe: la diminution des précautions pour les expositions médicales prénatales.***

Une autre offensive est menée dans ce domaine. Tout se passe comme si la protection des embryons gênait considérablement le fonctionnement des services médicaux (qu'on pense à la règle des 10 jours qui veut que l'on s'abstienne de radios non urgentes pendant la période dépassant 10 jours après le début des règles). Les gens sont par ailleurs inquiets et les avocats à l'affût... C'est dans ce contexte que de nouvelles recommandations internationales en la matière ont vu jour ces derniers temps. Elles se caractérisent par la volonté de minimiser, voire parfois de taire –ce qui est plus grave–, toutes les données inquiétantes ("pour dédramatiser aux yeux des praticiens"), et par le recul de certaines mesures de protection. Des seuils d'innocuité, présentés comme certains, sont cités, rendant presque superflue la démarche ALARA au niveau du praticien. Le caractère international des recommandations, en déculpabilisant les praticiens, rend ce recul plus rassurant et apparemment moins contraire au principe de précaution. Il offre aussi une bonne protection juridique aux médecins. A noter que de telles recommandations arrangent également ceux qui sont préoccupés par l'anxiété du public face à une contamination de l'environnement. Les données scientifiques, nous l'avons vu, n'autorisent pourtant pas un tel optimisme quant aux risques de l'irradiation in utero.

### ***Brièvement un quatrième et dernier axe: le repli de la recherche.***

On assiste actuellement à une réduction importante des crédits alloués à la recherche en radioprotection. Comme si brusquement on se rendait compte qu'on a déjà tout trouvé et que les problèmes résiduels sont sans importance.

## LE TALON D'ACHILLE D'ALARA : LES MESSAGES DISCORDANTS

Le principe ALARA est une application du principe de précaution étroitement liée à *l'hypothèse linéaire sans seuil* pour la radioinduction de cancers et d'effets héréditaires.

Beaucoup présentent cependant la base scientifique de ce principe d'une manière qui prête à confusion ou, pire, qui conduit à des conclusions erronées. Ils parlent d'« effets purement hypothétiques » -un tel langage est souvent compris comme l'aveu d'une base scientifique très faible, ou même du caractère « improbable » de l'existence de ces effets, alors qu'il existe au contraire un faisceau de données scientifiques sérieuses permettant de croire à leur existence! -. Ils parlent de « choix » entre diverses extrapolations – comme si ce choix était purement arbitraire et comme si chacune des options était de probabilité égale-. Ils soulignent que les effets observés au Japon sont produits uniquement par des doses élevées et ne sont pas applicables aux situations rencontrées en routine – alors que la plupart des survivants japonais ont reçu des doses faibles et que les mêmes effets ont été observés dans de nombreux autres groupes, notamment dans le secteur médical-. Ils font remarquer qu'on n'a rien pu mettre en évidence de façon claire dans les populations exposées à un bruit de fond élevé, ce qui prouverait l'innocuité des faibles doses – alors qu'il s'agit simplement dans ce cas d'une impossibilité de nature statistique : l'épidémiologie est une science et elle a ses limites !

Les praticiens sont donc continuellement confrontés à des messages perçus comme contradictoires ou *discordants*, ce qui induit chez beaucoup un refus de l'information qui gêne et une sélection des sources qui confortent leurs propres opinions ou préjugés. Il faut espérer que des considérations malhonnêtes et cyniques ne sont pas à la source de certains de ces messages brouillants : leurs auteurs commettraient dans ce cas une grave faute déontologique. Quoi qu'il en soit, il faut réaliser que de telles informations peuvent parfois saboter les tentatives de mettre en pratique le principe ALARA, en particulier et paradoxalement dans le monde médical, alors que – il faut le dire clairement-, il existe à l'heure actuelle un *faisceau d'indices sérieux en faveur* de l'hypothèse linéaire sans seuil. Ces présomptions sont encore renforcées par les dernières données en provenance du RERF, concernant l'incidence des tumeurs solides dans les populations exposées. On y observe un risque statistiquement significatif dans la gamme de doses 0-0.1 Sv et les courbes dose-effet continuent à montrer une forte tendance linéaire (7).

## CONCLUSIONS

Comme on peut le voir, il y a pour l'instant une *tendance à faire marche arrière* sur le plan de l'application des principes éthiques de précaution, de responsabilité et de protection des plus faibles. De basses manoeuvres liées aux intérêts économiques ne sont pas exclues mais la diffusion au sein des milieux d'experts des tendances néo-libérales et de l'éthique utilitariste sont une autre explication. Il faut aussi s'interroger sur l'analyse d'un philosophe comme Baudouin de Contes, pour qui la société et les experts qui la guident vivent toujours dans "le mythe d'une stabilité imminente": le grand soir de la connaissance scientifique ne peut pas ne pas arriver; demain nous saurons! Sont-ce cette croyance et cette impatience-là qui font que

certain, sur la base de données scientifiques qui ont fondamentalement peu évolué, croient que l'incertitude disparaît et que les précautions ne sont plus nécessaires....?

### **Références**

1. International Commission on Radiological Protection (ICRP), Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Annals of the ICRP, (Pergamon Press), Vol 1, N° 3, 1977.
2. Boehler M.C.- Gestion du risque radiologique : jurisprudence aux USA et en Europe, dans Les Cahiers du Groupe Epistémologie des Cindyniques, No 4 : 116-125, Paris, 1997.
3. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, (Pergamon Press), Vol 21, N° 1-3, 1991
4. Considerations on the concept of dose constraints- A report from a joint group of experts from the OECD Nuclear Energy Agency and the European Commission, OECD, Paris, 1996.
5. Directive 96/26/Euratom du Conseil, du 13 mai 1996, fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants, Journal Officiel des Communautés européennes, L159, 29 juin 1996.
6. Clarke R.- Control of low-level radiation exposure : time for a change ? *J. Radiol. Prot.*, Vol 19 No 2 107-115, 1999
7. Pierce D.A. and Preston D.L. – Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiation Research*, 154, 178-186, 2000.

### **SAMENVATTING**

Een historisch overzicht van de evolutie van de internationale aanbevelingen wordt gegeven waarbij de nadruk wordt gelegd op de ontstane weerstand die het toepassen van deze aanbevelingen heeft geremd. Twee bijzondere gevallen worden beschouwd, de *in utero* bestralingen en de interventies, die gepaard gaan met moeilijkheden bij het toepassen van het ALARA principe. Er wordt dan overgegaan tot een beschrijving van bepaalde actuele negatieve ontwikkelingen en geconcludeerd met een beschouwing over het gevaar van demotivatie van de betrokken personen voortvloeiend uit het voortdurend sturen van seinen aangaande de nochtans stevige wetenschappelijke basis van het ALARA principe.

## **Principe ALARA: Mythe ou réalité? Réflexions d'un organisme de contrôle agréé**

Henri Drymael  
Association Vinçotte Nucléaire

### **Résumé**

Le principe ALARA fait partie maintenant de la "culture" des membres de la communauté de la radioprotection. Tous connaissent ce principe et pensent - pour la plupart - l'appliquer.

Cependant, on peut encore constater des doses qui peuvent sembler a priori élevées ou des expositions qui peuvent paraître inutiles. On peut en déduire que l'application quotidienne de ce principe ALARA, application sous la forme d'une "politique ALARA", n'est peut-être pas aussi simple et aussi répandue qu'on pourrait le souhaiter.

Le principe ALARA serait-il un mythe? Est-il une réalité?

L'historique de l'introduction du principe ALARA dans la réglementation est brièvement rappelé. Des politiques ALARA sont maintenant établies dans les principaux établissements. Les éléments d'une politique ALARA sont examinés. Cette politique doit couvrir la conception, l'exploitation, et la maintenance de l'installation, qu'il s'agisse d'une centrale nucléaire ou d'un petit équipement.

Un point-clé de la réussite d'une politique ALARA est l'importance accordée à la formation et à l'information.

De nombreux acteurs interviennent dans une politique ALARA, avec leurs rôles spécifiques. Le rôle particulier de l'organisme agréé est examiné plus en détail. La réussite d'une politique ALARA dépend de la participation de tous les acteurs et de leur bonne collaboration à l'objectif commun de réduction des doses.

Trois sujets de réflexion sont abordés:

- Le cadre réglementaire doit-il être complété par un prix pour l'homme-sievert? La réponse proposée est non.
- Quels sont les liens à établir entre politique ALARA et prévention des risques, entre risques radiologiques et risques classiques? La politique ALARA de réduction des risques radiologiques doit être intégrée dans une politique plus large de prévention de l'ensemble des risques auxquels sont soumis les travailleurs, dans une politique ASARA "as safe as reasonably achievable" globale.
- La réglementation en matière de radioprotection et la loi sur le bien-être au travail définissent différentes structures avec leurs missions et responsabilités propres. Ces différentes structures ainsi que leurs relations permettent-elles la mise en

place d'une politique ALARA efficace? En particulier, quels sont les interlocuteurs et la place de l'organisme agréé? Le cas des établissements dans lesquels l'OA exerce directement les missions du contrôle physique demanderait réflexion.

## 1. INTRODUCTION

Le principe ALARA fait partie maintenant de la "culture" des membres de la communauté de la radioprotection. Tous connaissent ce principe et pensent - pour la plupart - l'appliquer.

Cependant, on peut encore constater des doses qui peuvent sembler a priori élevées ou des expositions qui peuvent paraître inutiles. On peut en déduire que l'application quotidienne de ce principe ALARA, application sous la forme d'une "politique ALARA", n'est peut-être pas aussi simple et aussi répandue qu'on pourrait le souhaiter.

Le principe ALARA serait-il un mythe? Est-il une réalité?

Le mot "mythe" a plusieurs sens qui peuvent alimenter notre réflexion; le "Petit Larousse" donne trois sens à ce mot:

- 1) *récit populaire ou littéraire mettant en scène des êtres surhumains et des actions imaginaires, dans lesquels sont transposés des événements historiques, réels ou souhaités, ou dans lesquels se projettent certains complexes individuels ou certaines structures sous-jacentes des rapports familiaux et sociaux;*
- 2) *construction de l'esprit qui ne repose pas sur un fond de réalité;*
- 3) *représentation symbolique qui influence la vie sociale (ex: le mythe du progrès).*

La définition, la mise en application et le respect d'une politique ALARA devraient nous permettre d'échapper à la deuxième signification du mot mythe, et de mettre en pratique la troisième.

## 2. RAPPEL HISTORIQUE

Le principe ALARA a été introduit dans notre réglementation lors de la mise à jour de 1987, suite à la transposition de la Directive 80/836/Euratom du 15 juillet 1980, directive inspirée du document ICRP 26 de 1977. Ce document ICRP introduisait les 3 principes (justification, optimisation et limitation) qui sont le fondement de l'aspect réglementaire actuel de la radioprotection.

Le principe d'optimisation découle de l'hypothèse d'absence de seuil dans la relation dose-effet. Les effets n'étant dès lors jamais nuls en cas d'exposition, il faut faire en sorte, pour une pratique donnée, que les doses individuelles et le nombre de personnes exposées soit aussi faibles que possible. En corollaire, il faut un critère ou une méthode pour déterminer jusqu'où réduire ces expositions.

Le principe ALARA était exprimé sous une forme simple dans le règlement de 1987: *"toutes les expositions doivent être maintenues à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement possible"*. Ce règlement de 1987 ne donne pas d'indication sur la façon de juger de ce qui est "raisonnable".

La parution du document ICRP 26 et de la Directive 80/836 a fait évoluer la conception de la radioprotection dès le début des années 80, et des politiques ALARA sont progressivement apparues entre 1985 et 1990 dans les grands établissements. Les experts agréés des services de contrôle physique et des organismes agréés ont notamment défini des procédures ALARA, pour l'analyse préliminaire de travaux susceptibles d'entraîner des expositions importantes. De "curative", la radioprotection est devenue "prédictive": la réflexion sur la réduction des doses a commencé dès le début de la phase d'élaboration des travaux de grands chantiers (pour influencer la conception et la préparation de ceux-ci), et plus seulement au moment de l'exécution de ces travaux. Les responsables de la radioprotection sont impliqués dès l'origine; ils n'ont plus à subir les conséquences de choix auxquels ils n'avaient pas participé.

Dans leurs discussions sur la définition de politiques ALARA, les responsables de la radioprotection ont essayé de s'entendre sur ce qui est "raisonnablement possible". Ils ont parfois dû convaincre les directions et les hiérarchies de l'utilité de la démarche ALARA. Quelques réticences ont dû être vaincues avant de parvenir à la définition de politiques ALARA qui marquent la volonté de tous les acteurs d'une pratique de réduire les doses autant qu'il est raisonnablement possible.

Actuellement, tous les établissements liés au cycle du combustible nucléaire ont défini et appliquent des politiques ALARA, qui ont pour effet une tendance à la diminution des doses, individuelles et collectives. Pour les établissements du secteur médical et de l'enseignement, la mise en place de politiques ALARA est plus lente, et quelques progrès seraient encore à faire, en particulier pour la réduction des doses aux extrémités (doigts).

La mise à jour actuelle de notre réglementation, pour la transposition de la Directive 96/29/Euratom du 13/05/96, va plus loin dans l'expression du principe ALARA: elle introduit explicitement la prise en compte des facteurs économiques et sociaux (mais toujours sans donner d'indication pratique sur la façon de procéder) et elle donne la possibilité à l'Agence fédérale de contrôle nucléaire de fixer des "contraintes de dose".

### **3. ELEMENTS D'UNE POLITIQUE ALARA**

Le texte ci-dessous est écrit dans l'optique d'une grande installation, comme une centrale nucléaire ou un accélérateur utilisé en milieu industriel ou médical. Il est bien entendu que des principes analogues sont applicables lors de la conception et de l'utilisation d'un petit objet comme un protège-seringue utilisé en milieu médical pour limiter les doses aux doigts lors de l'injection de substances marquées au technétium: l'objet doit être "bien conçu" pour faciliter son usage et provoquer une gêne minimale chez l'utilisateur, cet utilisateur doit être formé et informé,...

Dans un cas idéal, la politique ALARA commence dès la conception de l'installation et se poursuit tout au long de son exploitation puis de son démantèlement éventuel. Cette politique doit couvrir tant les expositions à l'intérieur de l'entreprise (travailleurs) que son incidence sur l'extérieur (rejets, exposition de la population).



Quelques éléments d'une politique ALARA sont décrits ci-dessous, pour les différents aspects à couvrir.

### **3.1. Conception**

Dès le début de la conception d'une installation, le concepteur doit veiller à optimiser et à limiter les expositions futures des travailleurs et de la population. Il doit pour cela évaluer les caractéristiques radiologiques de l'installation (débits de dose, contaminations éventuelles et rejets éventuels), ainsi que les tâches des travailleurs dans les endroits exposés. Il est ainsi possible de déterminer des expositions individuelles et des doses collectives liées à des tâches particulières et à l'exploitation prévue de l'installation, y compris les incidents éventuels prévisibles.

Un processus d'optimisation peut être effectué, pour limiter ces doses autant que possible, compte tenu des contraintes économiques. Plusieurs points sont à considérer dans ce processus, comme (de façon non limitative):

1) Le choix des matériaux:

Un choix judicieux des matériaux est à effectuer, notamment pour éviter l'activation de certains éléments qui conduit à la création d'isotopes fortement pénalisants pour le débit de doses dans les installations (par exemple, limitation de la teneur en cobalt dans les équipements du circuit primaire des réacteurs nucléaires pour limiter la production de Co 60). Des matériaux peuvent également être choisis pour leurs propriétés améliorées de blindage du rayonnement: béton baryté, verre au plomb,...

2) La conception des blindages:

La disposition géométrique des blindages est à concevoir afin de limiter le rayonnement transmis à l'extérieur, par l'installation de chicane au niveau des accès et de traversées non rectilignes. L'épaisseur du blindage est à déterminer afin d'atteindre un facteur d'atténuation jugé suffisant; une épaisseur optimale de blindage peut ainsi être déterminée.

3) L'ergonomie de l'installation:

Une réduction des doses peut être obtenue grâce à une meilleure ergonomie de l'installation. La conception doit faciliter l'accès et limiter le temps passé dans des endroits à débits de dose élevés; elle doit faciliter les interventions en prenant notamment en compte dès la conception les opérations de démontage nécessaires pour la maintenance.

4) Les équipements de protection individuelle:

Le choix des équipements de protection individuelle, comme les tabliers de plomb dans un service de radiologie, doit être adapté au type d'intervention (forme, épaisseur,...).

Pour ces différents points, le concepteur de l'installation peut être aidé dans ses choix ou dans l'évaluation préliminaire des doses par des experts en radioprotection, comme ceux du service de contrôle physique de l'établissement ou de son organisme agréé.

Tous les choix évoqués ci-dessus ont un coût (matériau plus cher, volume de béton plus important, ...) qui doit être évalué et comparé au "prix" de la dose qu'ils permettent d'éviter. Cette comparaison et le "prix" de la dose sont discutés au point 5.1 ci-dessous.

### **3.2. Exploitation - Utilisation**

Durant toute la durée de son exploitation, l'exploitant doit veiller à maintenir les doses aussi faibles que raisonnablement possible. Selon le type d'installation, cela implique une attention constante dans des domaines qui peuvent être très variés. Ainsi, à titre d'exemples et de façon non limitative:

- 1) Le choix des paramètres physiques et chimiques (pH, températures lors des différentes phases de l'arrêt,...) de l'eau du circuit primaire d'une centrale nucléaire a une incidence directe sur les phénomènes de corrosion des parois du circuit et sur les phénomènes de dépôt des produits de corrosion activés. L'exploitation chimique du circuit primaire a une incidence directe sur la dosimétrie.
- 2) Le choix de l'ordre de certaines opérations en cours d'exploitation ou le choix de conditions d'exploitation de certains systèmes a une incidence sur la dosimétrie. Ainsi, maintenir un niveau d'eau dans le secondaire des générateurs de vapeur d'une centrale nucléaire pendant une partie de sa période d'arrêt pour rechargement et maintenance conduit à une diminution du débit de dose autour de ces générateurs de vapeur, et donc à une réduction de la dosimétrie pour les chantiers voisins. Cette contrainte d'exploitation est donc bénéfique du point de vue de la radioprotection; elle a un coût lié à l'allongement éventuel du planning des travaux.
- 3) L'utilisation effective et correcte des moyens de protection prévus doit être intégrée dans la "culture d'entreprise". Elle doit être prise en compte dans la planification des tâches et dans la durée accordée à celles-ci.

Dans ce domaine, des progrès pourraient encore être accomplis dans le secteur médical où la surcharge de travail du personnel conduit parfois à une utilisation insuffisante des moyens de protection individuelle.

### **3.3. Maintenance**

Dans la plupart des installations, et en particulier dans les centrales nucléaires, les travaux de maintenance contribuent pour une part importante à l'exposition des travailleurs (de l'entreprise ou de contractants extérieurs à celle-ci). Il importe donc de tenir compte d'un objectif ALARA pour cette exposition lors de la définition des travaux à effectuer, de leur planification, de leur organisation et de leur réalisation.

Pour les grands chantiers en centrale nucléaire, comme le remplacement des générateurs de vapeur, une étude préliminaire détaillée des différentes phases a été effectuée, avec évaluation des doses correspondantes. Cette étude implique une collaboration étroite entre ceux qui connaissent les travaux à effectuer (le service Maintenance, les entreprises extérieures contractantes éventuelles,...) et ceux qui connaissent les risques radiologiques liés aux débits de dose et

contaminations associés aux équipements ainsi que les moyens de protection éventuels (le service de contrôle physique, l'organisme agréé).

Ces études conduisent à des conditions particulières pour les interventions, à la définition de moyens de protection complémentaires, à l'utilisation d'outillage robotisé... Une optimisation peut être réalisée.

Il faut remarquer que l'installation de moyens de protection complémentaires, comme les blindages temporaires et démontables constitués de feuilles de plomb utilisés depuis quelques années dans les centrales nucléaires, peut être à l'origine d'autres risques et accidents. Ces risques "classiques" liés à la manutention répétitive d'objets lourds et aux chutes éventuelles sont également à envisager. Ce sujet est discuté au point 5.2 ci-dessous.

La maintenance doit également tenir compte des conséquences éventuelles pour l'exposition des travailleurs de ses choix lors du remplacement d'équipements (choix des matériaux, ergonomie des équipements de remplacement): une conception initiale qui tenait compte de la radioprotection ne peut pas être dégradée suite à des remplacements d'équipements; par contre, une conception ancienne, non optimisée, peut être améliorée lors de remplacements d'équipements, en tenant compte de l'évolution des techniques et du retour d'expérience.

### **3.4. Formation – Information**

Pour être efficace, une politique ALARA doit être bien comprise par tous les travailleurs, quels que soient leur niveau hiérarchique ou leur fonction.

Il est donc important que chaque travailleur soit informé des risques liés aux radiations ionisantes en général et des risques et consignes spécifiques à l'entreprise. Ceci ne peut s'obtenir que par une formation de base en radioprotection et par une information sur les travaux particuliers et les risques associés.

Cette formation et information est prévue en des termes très généraux dans la réglementation (article 25 de l'AR du 28/02/63) pour les travailleurs en général. Les sujets à couvrir sont cités (risques, normes de base, règles de bonne pratique assurant la protection,...), mais il n'y a pas de précision sur la durée minimale de cette information ni sur son contenu réel. La formation dans le cas des applications médicales est traitée un peu plus en détail.

La pratique a montré que la formation était souvent trop rudimentaire, ce qui a conduit parfois à une négligence de règles élémentaires de radioprotection et à des expositions "inutiles". A titre d'exemple, j'ai personnellement trouvé (en 1991) deux travailleurs en train de jouer aux cartes, assis à côté d'une pompe primaire dans une centrale nucléaire belge, en l'attente de l'autorisation d'intervention sur celle-ci.

Ces dernières années, la situation a évolué vers une amélioration. En particulier, les centrales nucléaires ont instauré un rappel de radioprotection obligatoire, associé à un contrôle de connaissance, pour les travailleurs d'entreprises extérieures venant travailler sur leur site. La responsabilité et les obligations de l'entreprise extérieure et de l'exploitant en matière de formation ont été précisées dans la réglementation en

1997.

Plusieurs firmes, dont les organismes agréés, proposent des formations en radioprotection adaptées aux travailleurs concernés.

Cette évolution en matière de formation a eu lieu en même temps que la sensibilisation des responsables des établissements à l'importance d'une politique ALARA pour l'exposition des travailleurs.

L'importance accordée à la formation et à l'information est un point-clé de la réussite d'une politique ALARA.

### **3.5. Contrôle – Evaluation**

Le service de contrôle physique SCP, en relation avec l'organisme agréé, a un rôle central et primordial dans la politique ALARA d'un établissement, à toutes les étapes de celle-ci. Les principales missions du SCP en relation avec cette politique sont, à titre d'exemple:

- 1) La participation à l'évaluation préliminaire de la dosimétrie associée aux travaux et à la définition des moyens de protection à prévoir, sur base de sa connaissance des caractéristiques radiologiques des installations ;
- 2) La détermination des débits de dose et des contaminations en cours de chantiers. A partir de ces déterminations (à comparer aux hypothèses faites lors de l'étude préalable des chantiers), le SCP doit vérifier le bien-fondé des moyens de protection collectifs (blindage, ventilation,...) et individuels (tenues de protection, masques,...) déjà prévus et utilisés, et, si nécessaire, prévoir des moyens de protection complémentaires qui permettraient de réduire les expositions à des valeurs ALARA;
- 3) La détermination des doses individuelles et collectives (par chantier si possible), afin de pouvoir suivre ces doses au jour le jour. Ces doses sont à comparer aux prévisions afin de déceler toute évolution anormale qui pourrait justifier le recours à des dispositions de radioprotection complémentaires (délai dans l'exécution, moyens de protection collectifs ou individuels,...). Par ailleurs, la constatation que les doses réelles sont inférieures aux prévisions n'est pas une raison pour crier victoire et relâcher son attention;
- 4) Le contrôle sur le terrain des dispositions prises pour la radioprotection, de l'utilisation correcte des moyens de protection, du port des dosimètres, ...

### **3.6. Quelques points-clés**

De nombreux exemples d'application du principe ALARA sont présentés au cours de cette journée. Je cite ici deux points qui me paraissent importants, en plus de la formation, déjà mentionnée comme point-clé: la réflexion préliminaire et l'instauration de zones de repli.

- 1) La réflexion préliminaire:

Les grands chantiers que sont les remplacements de générateurs de vapeur de nos centrales nucléaires ont fait l'objet d'études ALARA préliminaires et d'un suivi dosimétrique détaillé lors des travaux. Le retour d'expérience a permis une

diminution de la dose collective pour cette même opération réalisée successivement dans plusieurs centrales (en 1993, 2,1 h-Sv à Doel 3; en 1998, 0,62 h-Sv à Tihange 3).

A titre de comparaison, la révision spéciale de Tihange 1 (première révision décennale de 1986) a comporté quelques grands chantiers, moins spectaculaires que le remplacement des générateurs de vapeur, mais demandant des opérations de découpe et de soudure de tuyauteries dans des conditions analogues.

A l'époque, l'examen préliminaire des chantiers dans une optique de réduction des doses n'était pas encore systématique, et les agents chargés de la radioprotection n'ont pu qu'essayer de limiter les doses, en cours de chantier, par des actions de protection "improvisées" sur le terrain. La dose collective a été de 8,5 h-Sv.

L'expérience des grands chantiers de centrales nucléaires montre toute l'importance d'une politique ALARA bien définie et bien suivie. Cette expérience peut être transposée dans d'autres installations.

Les organismes agréés ont là un rôle à jouer, pour la transmission de cette expérience vers des installations actuellement moins sensibilisées à l'importance d'une politique ALARA.

## 2) Les zones de repli:

Une fraction non négligeable de la dose collective de l'arrêt pour révision d'une centrale nucléaire résulte de l'accumulation d'un grand nombre de petites doses individuelles. Dès lors une politique ALARA n'est pas seulement la recherche d'une diminution des doses sur les grands chantiers; c'est aussi la chasse à toutes les petites doses "inutiles".

Un des moyens mis en oeuvre est l'instauration de zones "vertes", des zones de repli où le débit de dose est faible et où les travailleurs sont priés de se rendre dès que leur présence sur chantier n'est plus nécessaire. Ceci implique un affichage clair des zones de repli, et une information des travailleurs qui les motive à utiliser ces zones plutôt qu'à rester près d'un chantier où ils sont momentanément inutiles.

L'instauration des zones de repli et l'information correspondante devraient permettre d'éviter de trouver encore des "joueurs de cartes" (comme évoqué au point 3.4).

Il faut aussi éviter le "tourisme" en zone contrôlée, la présence de personnes non directement concernées par les travaux.

## 4. ROLE DES DIFFERENTS ACTEURS

Comme les exemples ci-dessus le montrent, différents acteurs interviennent dans la définition d'une politique ALARA pour un établissement donné:

- le concepteur de l'installation dans son ensemble ou d'un objet qui y est utilisé (depuis la centrale nucléaire jusqu'à un protège-seringue);
- l'exploitant ou utilisateur de cette installation, qui peut recouvrir une organisation groupant plusieurs services et de nombreux travailleurs (comme dans le cas

d'une centrale nucléaire) ou être un petit groupe d'individus si pas une personne isolée;

- les responsables du contrôle physique au sens réglementaire du terme, qu'il s'agisse du service de contrôle physique SCP ou de l'organisme agréé OA.

Chacun de ces acteurs doit se sentir concerné par l'optimisation et la réduction des doses individuelles et collectives.

L'organisme agréé est susceptible d'intervenir à plusieurs niveaux:

- lors de la conception, l'OA intervient par son analyse critique des projets présentés par le concepteur dans le cadre de la demande d'autorisation (par exemple, demande d'autorisation pour une centrale nucléaire pour laquelle l'OA fait une analyse de sûreté, y compris la radioprotection). L'OA peut aussi intervenir par une aide directe à la conception dans le cas de petites installations (par exemple, calcul du blindage pour un local de stockage de sources radioactives). Le rôle de l'OA est ici un rôle d'expert technique ou de conseiller;
- lors de l'exploitation/utilisation, l'OA doit veiller (indirectement par l'intermédiaire de son contrôle de la bonne exécution de ses missions par le service de contrôle physique de l'établissement, ou directement s'il exerce les missions du SCP dans le cas où il n'y en a pas dans l'établissement) à ce qu'une politique ALARA soit définie, mise en place et respectée;
- l'OA intervient également par son suivi de la dosimétrie du personnel, qui peut conduire à des demandes d'enquête en cas de dose jugée trop élevée (même si les limites légales sont bien respectées);
- l'OA peut contribuer à la formation du personnel;
- enfin, l'OA peut contribuer à la transmission de l'expérience de politiques ALARA entre les différentes installations.

La réussite d'une politique ALARA dépend de la participation de tous les acteurs et de leur volonté de réduire les expositions. Elle dépend aussi de la bonne collaboration et de la confiance entre les différents acteurs. Il importe que chacun connaisse les risques radiologiques et les tâches à effectuer, que chacun comprenne les difficultés des autres dans l'exécution de leurs tâches, et que tous collaborent à l'objectif commun de réduction des doses.

## **5. QUELQUES SUJETS DE REFLEXION**

L'application du principe ALARA, par la mise en pratique d'une politique ALARA, représente un cas particulier de politique de prévention des risques telle que prévue par la loi du 04/08/96 sur le bien-être au travail: la politique ALARA concerne les risques spécifiques liés aux radiations ionisantes, et elle est établie dans le cadre réglementaire propre à ces radiations ionisantes.

Plusieurs questions méritent réflexion, en particulier:

- le cadre réglementaire doit-il être complété par un "prix" pour l'homme-Sievert?
- quels sont les liens à établir entre politique ALARA et prévention des risques, entre risques radiologiques et risques classiques?
- la réglementation en matière de radioprotection et la loi sur le bien-être au travail définissent différentes structures avec leurs missions et responsabilités propres.

Ces différentes structures ainsi que leurs relations permettent-elles la mise en place d'une politique ALARA efficace? En particulier, quels sont les interlocuteurs et la place de l'organisme agréé?

Quelques éléments de réponse sont donnés ci-dessous.

### **5.1. Analyse coût bénéfice - Prix du sievert ou de l'homme-sievert**

Le principe d'optimisation, qui veut que les doses soient maintenues aussi faibles que raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux, conduit logiquement à la comparaison du prix supplémentaire des moyens mis en oeuvre pour diminuer les doses avec le résultat obtenu. Une analyse coût-bénéfice en résulte avec comme objectif de répondre à la question: l'investissement supplémentaire envisagé est-il économiquement justifié par la réduction de la dose?

Pour répondre à cette question, qui demande en fait de "comparer des pommes et des poires", une solution est d'attribuer une valeur monétaire aux doses, c'est-à-dire de fixer un prix pour le sievert ou l'homme-sievert.

L'attribution d'une valeur monétaire à l'homme-sievert soulève des aspects éthiques et psychologiques qui sortent du cadre des présentes réflexions.

Sur le plan technique, de nombreuses valeurs ont été proposées depuis l'introduction du principe d'optimisation. Elles peuvent dépendre de la pratique ou du niveau de dose. Aucune valeur n'est réellement d'application généralisée.

La législation belge ne donne pas de valeur monétaire pour l'homme-sievert, ni de guide pour en estimer une. Ceci correspond d'ailleurs à ce qui se passe pour d'autres domaines couverts par le RGPT ou la loi sur le bien-être au travail: il n'y a pas de critère numérique, mais il faut atteindre un résultat "suffisant".

Il me semble que la situation actuelle, qui demande une optimisation compte tenu de facteurs économiques et sociaux, mais qui ne fixe pas de critères objectifs pour l'évaluation, donne en fait une plus grande liberté aux différents acteurs de la politique ALARA, et leur donne plus de responsabilité dans le processus d'optimisation.

En effet,

- si le prix de l'homme-sievert était fixé par la réglementation, l'optimisation s'arrêterait à l'équilibre coût-bénéfice, considéré comme objectivement déterminé. Il n'y aurait pas de discussions et de réflexions complémentaires, pas d'incitants supplémentaires permettant de faire mieux. Il y aurait par contre l'illusion d'avoir déterminé sur une base scientifique un optimum indiscutable, alors que cette évaluation repose sur de nombreuses hypothèses qui sont discutables, susceptibles d'évolution ou même sujettes à caution, comme la relation dose-effet.
- la situation actuelle, subjective, force les différents acteurs à faire preuve d'imagination. Le concepteur ou l'exploitant doit trouver des solutions acceptables pour lui du point de vue coût, possibilité de réalisation et efficacité, et il doit convaincre l'autorité ou l'organisme agréé qu'il "a fait le maximum" pour réduire les doses. De leur côté, ces autorités pousseront l'exploitant à aller plus

loin dans sa recherche de moyens complémentaires de réduction des doses, à mettre en place tout en n'engageant pas de frais excessifs. Un dialogue ouvert doit être établi entre tous les acteurs, qui doivent comprendre le point de vue des autres et engager leur responsabilité dans la décision finale.

## **5.2. Risques radiologiques et risques classiques**

Un établissement en général ne comporte pas qu'un seul type de risque. A côté du risque radiologique qui est l'objet de la politique ALARA, il existe des risques "classiques", comme les chutes d'objets ou les problèmes liés à la manutention de charges. Dans certains cas, les moyens de protection mis en place par la politique ALARA peuvent conduire à une augmentation des risques classiques.

Ainsi, l'installation des blindages temporaires en plomb dans les centrales nucléaires:

- a pour but une réduction des doses. Cet objectif est certainement obtenu. Mais la conséquence de la réduction de l'exposition (une diminution de la probabilité de cancers à long terme) n'est pas observable et n'est pas réellement quantifiable, compte-tenu de toutes les incertitudes liées à la relation dose-effet aux faibles doses;
- a pour conséquence une augmentation des risques classiques liés à la construction d'échafaudages, à la manutention manuelle de charges et à la chute d'objets. Cette conséquence est réelle et à court terme: l'augmentation de ces risques peut conduire à des accidents de travail.

Un équilibre doit être trouvé entre les différents risques, dans la politique de réduction ou de prévention de ceux-ci. Une vue globale des différents risques est donc nécessaire. Reste à savoir comment faire cette évaluation globale et qui en a la compétence.

La politique ALARA de réduction des risques radiologiques doit être intégrée dans une politique plus large de prévention de l'ensemble des risques auxquels sont soumis les travailleurs, dans une politique ASARA "as safe as reasonably achievable" globale.

## **5.3. Les interlocuteurs de l'organisme agréé**

La réglementation en matière de radioprotection a défini deux organes, le service de contrôle physique SCP interne à l'établissement et l'organisme agréé OA, extérieur. Ces organes ont leurs missions et leurs responsabilités propres.

Réglementairement, l'OA ne traite que des risques liés aux radiations ionisantes, pour lesquels il a une mission de contrôle sur les missions du SCP de l'établissement, ou une mission qu'il exerce directement dans l'entreprise si celle-ci n'a pas de SCP.

La loi sur le bien-être au travail a créé le service interne de prévention et de protection au travail SIPP, en charge de la politique de prévention des risques dans l'entreprise, et un comité pour la prévention et la protection au travail CPPT. Le SIPP a principalement des missions d'avis, la responsabilité étant donnée à la ligne hiérarchique.



Dans les établissements importants (en particulier les installations de classe I comme les centrales nucléaires), l'interlocuteur de l'OA est le SCP de l'établissement. Ce SCP est intégré dans le SIPP, et son chef a en général la double qualification: expert agréé selon la réglementation en matière de radioprotection, conseiller en prévention selon la loi sur le bien-être au travail.

Les "conflits" entre sécurité classique et radioprotection peuvent trouver une solution au sein de ce SCP-SIPP. Le rôle de l'OA est de veiller à une prise en compte correcte des exigences de la radioprotection (son domaine de compétence, aux deux sens du terme, technique et administratif), tout en comprenant les difficultés éventuelles d'application suite aux risques classiques. La présence permanente de l'OA permet le dialogue à ce sujet. Il appartient à l'OA de pouvoir comprendre les problèmes liés aux risques classiques, et de pouvoir en tenir compte dans ses exigences.

Ces structures ainsi que leurs relations permettent la mise en place de politiques ALARA ou ASARA efficaces.

Dans les établissements plus petits, en classes II et III, le contrôle de l'OA est épisodique, trimestriel ou annuel. Il en résulte une présence restreinte de l'expert de l'OA dans les établissements et des contacts limités de cet expert avec la hiérarchie et avec le SIPP.

Dans le cas où un SCP (un expert agréé) existe dans l'établissement, la situation est analogue à celle qui existe dans les établissements de classe I, même si les contacts sont plus limités. Il existe dans l'établissement un interlocuteur compétent (aux deux sens du terme) qui peut transmettre vers la direction, la hiérarchie et le comité CPPT éventuel ses préoccupations en matière de radioprotection et celles de l'OA. En sens inverse, il peut valablement informer l'OA des dispositions prises en réponse à ces préoccupations.

Par contre, dans le cas où l'OA exerce directement les missions de SCP (pas d'expert agréé dans l'établissement), la situation est différente. En général, un interlocuteur de l'OA a été désigné, qui accomplit des tâches courantes de radioprotection, sous les directives de l'OA. Cet interlocuteur n'est pas compétent au sens administratif du terme; il est parfois peu ou pas compétent au sens technique.

Dans le cadre de la définition et de l'application d'une politique ALARA, la présence dans l'établissement de cet interlocuteur ne compense pas l'absence d'un expert en radioprotection. En effet, aucun expert en radioprotection ne participe au comité CPPT de l'entreprise. Ce comité ainsi que la direction et la hiérarchie ne connaissent les préoccupations de l'OA en matière de radioprotection que par l'intermédiaire des rapports de visite (trimestriels ou annuels) écrits par l'OA. L'OA n'a pas la possibilité de participer aux réunions du CPPT, alors que la réglementation en matière de radioprotection prévoit qu'il exerce des missions internes à l'entreprise, missions qui concernent la prévention et la protection au travail et, parfois, la protection de la population.

Cette situation demanderait une réflexion de la part du législateur, qui donne des missions à l'OA dans l'entreprise, mais qui ne prévoit pas sa participation aux

structures mises en place par la loi sur le bien-être au travail, ni, au minimum, ses relations avec ces structures.

## 6. CONCLUSIONS

Dans de nombreux établissements, le principe ALARA a été mis en application sous la forme d'une politique ALARA. Le mythe ALARA, au départ une construction de l'esprit de quelques spécialistes en radioprotection, s'est transformé en une réalité sur le terrain. L'effort est à poursuivre, et l'application du principe ALARA devrait encore se concrétiser dans certains établissements.

Le principe ALARA doit rester une représentation symbolique qui influence la vie professionnelle de toutes les personnes susceptibles d'être exposées aux radiations ionisantes ou ayant une responsabilité dans cette exposition.

Ce mythe doit continuer à pousser les différents acteurs à collaborer à la réduction des doses, et à la réduction de l'ensemble des risques (politique ASARA), malgré les obstacles techniques, économiques ou organisationnels qu'ils peuvent rencontrer.

### Samenvatting

Het ALARA principe maakt nu deel uit van de "cultuur" van de leden van de stralingsbeschermingsgemeenschap. Het is algemeen bekend en allen denken het werkelijk toe te passen. Desalniettemin worden nog doses vastgesteld die, a priori, hoog lijken of blootstellingen die nutteloos schijnen. Hieruit kan afgeleid worden dat het dagelijks toepassen van dat beginsel als gevolg van een "ALARA politiek", niet zo eenvoudig en niet zo verspreid is als men het zou wensen.

Een kort overzicht wordt gegeven van het opnemen van het ALARA principe in de reglementering. ALARA beleid wordt toegepast in de belangrijkste instellingen. De bestanddelen van de ALARA politiek worden onderzocht. Deze politiek dient in acht genomen te worden bij het uitdenken, het beleid en het instandhouden van de installaties, of het gaat om een kernreactor of om een klein instrument.

Een sleutelpunt voor het welslagen van een ALARA opzet is het belang dat aan informatie en scholing wordt gegeven. Verscheidene acteurs komen tussenbeide, elkeen met zijn specifieke rol. Het succes is gekoppeld aan het meedoen en samenwerken van allen om het gemeenschappelijk doel van verminderde dosissen.

Drie onderwerpen worden besproken:

- Moet het reglementair raam aangevuld worden met het vaststellen van een bedrag voor de man-sievert? Het antwoord luidt neen.
- Welke banden dienen er gelegd tussen een ALARA politiek en de preventie van de risico's enerzijds en tussen conventionele en radiologische risico's, anderzijds? De ALARA politiek ter vermindering van de radiologische risico's moet zijn plaats vinden in een algemene preventie politiek tot vermindering van alle risico's waaraan de werknemers worden blootgesteld, de zogeheten alles omvattende "ASARA as safe as reasonably achievable"-politiek.

- De reglementering inzake stralingsbescherming en de wet aangaande het welzijn op de arbeidsplaats bepalen verscheidene structuren met eigen doelstellingen en verantwoordelijkheden. Zijn deze structuren en hun wisselwerkingen instaat een doeltreffend ALARA beleid te bewerkstelligen? Met name, wie zijn de gesprekspartners van het controle organisme, en welke is de plaats van dat organisme? Het geval van de installaties waar het organisme direct de fysische controles waarneemt vraagt verder overleggen.

## **Een decennium ALARA-beleid in de KC Doel**

Mr. Valeer Lippens  
Mr. Leo Rombouts  
KC Doel

### **SAMENVATTING**

Het ALARA-beleid werd in 1991 in KC Doel ingevoerd. De krachtlijnen van de beleidsverklaring omvatten de integratie van ALARA benadering in de werkorganisatie ondersteund door een op te richten ALARA-cel, het ter beschikking stellen van de nodige middelen, er moet vooral ingespeeld worden op kortere blootstellingsduur en reduceren van dosisdebiet, ALARA-benadering wordt tevens toegepast op de omgeving (reduceren van radioactieve lozingen en radioactief afval) en opstellen van een planning voor het uitwerken van een actieplan.

Chronologisch wordt de uitwerking van het actieplan, dat afgestemd is op de beleidsverklaring, toegelicht met als voornaamste mijlpalen: invoeren van een ALARA-werkwijze die gesteund is op bindende regels bij de werkvoorbereiding; de opvolging van uitvoering van werken en post-evaluatie van uitgevoerde werken in functie van de geraamde collectieve dosis; indienstneming van PRODOS (dosisopvolgingssysteem); jaarlijkse bepaling van individuele en collectieve dosisobjectieven voor de site; vervanging van de stoomgeneratoren op Doel 3 en 4; verminderen van revisieduur; inzetten van robotica; ...

De resultaten van de voornoemde ALARA-inspanningen en het respecteren van de dosisobjectieven worden nader toegelicht.

### **Résumé**

La gestion ALARA fut introduite en 1991 à la centrale de Doel. Les lignes de force de la déclaration d'exploitation comprennent l'intégration du principe ALARA dans l'organisation du travail, appuyée sur une cellule ALARA à mettre en place, la mise à disposition des moyens nécessaires et la nécessité de réduction du temps d'exposition et des débits de dose et par la fixation d'un calendrier pour l'élaboration d'un plan d'action. L'approche ALARA est aussi mise en oeuvre pour l'environnement (réduction des rejets et des déchets).

La mise en oeuvre du plan d'action basé sur la déclaration d'exploitation est passé en revue chronologiquement.

Les étapes marquantes sont: mise en place d'une façon ALARA de travailler, basée sur des règles contraignantes établies à la planification du travail; le suivi de l'exécution des travaux et leur post-évaluation en fonction de la dose collective estimée; Mise en oeuvre de PRODOS, le système de suivi de dose; Détermination annuelle des objectifs individuels et collectifs de dose pour le site; remplacement

des générateur de vapeur de Doel 3 et 4; réduction des temps de révision; utilisation de la robotique, etc.

Les résultats obtenus avec ces efforts ALARA et le respect des objectifs en matière de doses sont documentés.

## **Pratique actuelle de la limitation des doses lors des interventions**

Thierry de Brouwer  
ELECTRABEL - Centrale Nucléaire de Tihange

### **INTRODUCTION**

La mission de la Centrale de TIHANGE est de fournir de l'électricité à un prix compétitif à son client en contribuant à la rentabilité d'ELECTRABEL. Cette mission s'appuie sur 4 valeurs de base : la sûreté des installations, l'intégrité physique des personnes, la préservation de l'environnement, l'esprit d'équipe et le développement personnel.

La démarche ALARA s'inscrit dans cette optique. Nous limiterons ce court exposé à quelques observations et éléments marquants pratiqués jusqu'ici dans le cadre des opérations d'exploitation et de maintenance journalière.

### **ALARA**

La démarche ALARA implique la justification des pratiques, l'optimisation de la dose collective et la limitation des doses individuelles. Le processus comprend les étapes de préparation, réalisation, suivi et retour d'expérience.

### **ACTEURS**

D'une manière générale, si le débit de dose est élevé et le nombre de personnes exposées faible, les personnes exposées sont « client » tandis que la ligne hiérarchique, la direction et le service interne de prévention sont « fournisseurs ». La situation s'inverse lorsque le débit de dose est faible et le nombre de personnes exposées élevé.

### **APPAREILS DE MESURE**

Les améliorations en matière d'appareillage ont un effet globalement bénéfique. Citons le remplacement des portiques de contrôle de contamination du personnel en sortie de zone (assurent maintenant la mesure gamma en plus de la mesure beta) ainsi que le remplacement du système de dosimétrie individuelle. De même le passage, il y a quelques années, au microSv comme unité de mesure à la place du milliRem a eu un impact favorable sur les comportements.

### **IMPLICATION DANS LA DÉMARCHE**

Les actions de sensibilisation et d'implication du personnel ont un effet généralement favorable sur la dosimétrie globale et individuelle. Néanmoins, certains aspects tels que l'évaluation de la durée d'exposition et du nombre de personnes exposées sont

améliorables en évitant davantage de les confondre avec la durée globale et le nombre de personnes impliquées dans l'intervention.

## **FICHES ALARA**

Les fiches de suivi assurent une traçabilité de la démarche (justification des actions prises, résultats obtenus, ...). Les contraintes administratives qui y sont liées peuvent être un frein à l'objectif escompté sur le terrain.

## **CHANTIERS IMPORTANTS ET RÉCURRENTS**

Pour les grands chantiers récurrents tels que la maintenance des générateurs de vapeur ou le remplacement du combustible en arrêt de tranche, l'approche ALARA est fortement intégrée à la pratique des opérateurs. Cela favorise l'efficacité de la démarche.

## **BLINDAGES**

L'utilisation de blindages amovibles pour la réduction des doses sur les chantiers est beaucoup pratiquée, notamment en arrêt de tranche (100 tonnes). Malgré les difficultés d'organisation, notamment dans la planification des opérations de blindage/déblindage que cela génère, cela contribue à une réduction significative de la dose globale engagée.

## **FORMATION**

Le thème des séances de formation données lors du rappel légal annuel en radioprotection en 2000 concernait les normes de radioprotection. Ce fut l'occasion de renforcer l'approche ALARA chez l'ensemble du personnel.

## **SIGNALISATION**

La signalisation en local de zones « vertes » indiquant au personnel les endroits à faible niveau de risque semble être une bonne pratique.

## **CONCLUSION**

Autant la démarche ALARA peut mettre dans la balance des coûts financiers d'une part et des coûts dosimétriques d'autre part, autant elle pourrait également s'exprimer en termes de poids de dossiers d'un côté et poids de « blindages » de l'autre. La communication, l'intégration de la radioprotection dans les processus opérationnels ainsi qu'une approche du type analyse des risques sont autant de facteurs clef de succès que nous intégrons progressivement dans nos comportements.

## Fusion du principe ALARA et de la méthode d'analyse de risques de Kinney

Bernard Adriaens

ELECTRABEL - Zone de Production Nucléaire de Tihange

### ORIGINE

Une législation récente (Arrêté Royal du 27 mars 1998 relatif à la politique du bien-être des travailleurs lors de l'exécution de leur travail) demande à chaque entreprise de mettre au point un système dynamique de gestion des risques. Il doit permettre de dépister les risques, de les évaluer - c'est-à-dire d'établir les priorités -, de les éliminer si possible ou le plus possible et enfin de réduire ceux qui sont résiduels, et tout cela en fournissant en parallèle des informations, des instructions et des formations au sujet des risques rencontrés aux travailleurs.

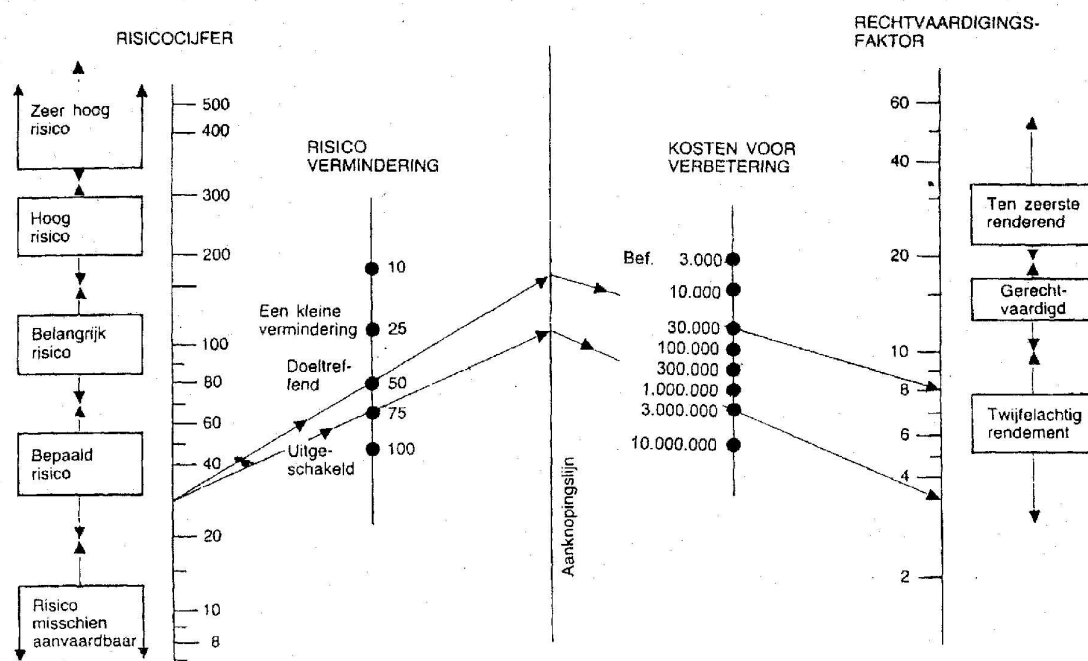
### EVALUATION DU RISQUE PAR LA METHODE DE KINNEY

Pour évaluer les risques ou plus précisément pour **établir les priorités** entre différents risques, une méthode souvent utilisée est la méthode d'analyse des risques de Kinney.

En deux mots, la méthode calcule un score du risque qui permet de quantifier le risque et donc d'estimer, indépendamment de toute considération financière, s'il faut envisager des mesures de réduction du risque.

Ensuite, après avoir imaginé différentes mesures de réduction des risques et d'en avoir estimé leur coût, la méthode de Kinney calcule un deuxième score qui permet d'estimer le niveau d'efficacité de la mesure de réduction du risque, compte tenu de son coût.

Cette méthode est souvent schématisée à l'aide du nomogramme ci-dessous.



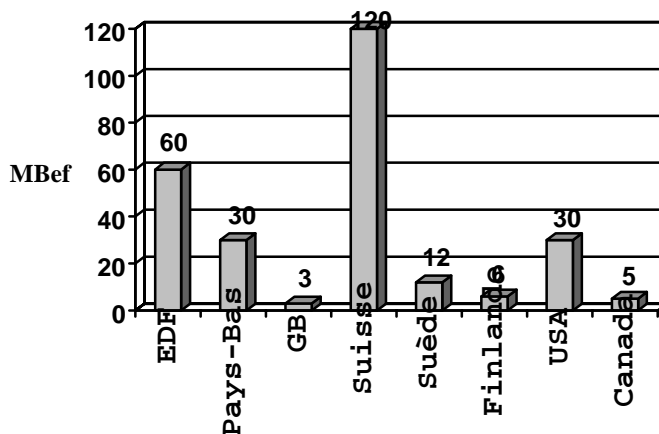


Le premier score est obtenu par le produit de trois facteurs : l'exposition (cotation fonction de la durée pendant laquelle une personne est soumise à un risque), le facteur des conséquences possibles (cotation dépendant des conséquences possibles encourues par le sujet si le risque se transforme en événement non désiré) et la probabilité (cotation définie par la probabilité qu'un événement non désiré survienne compte tenu de l'exposition et entraîne une certaine conséquence).

On peut classer les risques en deux catégories : les risques d'accident et les risques pour la santé c'est-à-dire induisant des maladies professionnelles. Les risques liés aux radiations ionisantes sont classés dans cette deuxième catégorie. Si, pour évaluer les risques, la méthode de Kinney est très bien adaptée pour la première catégorie, par-contre, elle n'est pas bien adaptée, comme nous le verrons plus loin, aux risques pour la santé.

Comme il n'existait pas de méthode équivalente à celle de Kinney, il a été décidé à Tihange d'élaborer une nouvelle méthode développée sur base d'un mélange des avantages de la méthode de Kinney et de la procédure ALARA actuellement utilisée à Tihange. Les éléments clés qui doivent se retrouver dans la nouvelle méthode sont la simplicité, l'objectivité, l'unicité de l'interprétation, le coût de l'Homme-Sievert et un traitement possible des risques pour la santé.

Vouloir estimer le coût de l'Homme-Sievert est assez ambitieux en soi, puisque, comme on peut le découvrir lorsque l'on fouille la littérature ALARA, le coût estimé sur base des mêmes règles de l'ICRP est fort disparate (voir diagramme ci-dessous).



## MÉTHODE DE KINNEY ADAPTÉE POUR LES RADIATIONS IONISANTES (ET LES MALADIES PROFESSIONNELLES)

Ci-dessous a été retranscrit la table de cotation de la probabilité pour la méthode de Kinney.

Cotation	Description originelle	Transposition française
10*	Might well be expected	Événement auquel on s'attend
6	Quite possible	Fort possible
3	Unusual, but possible	Inhabituel, mais possible
1*	Only remotely possible	Uniquement possible dans un cas limite
0,5	Conceivable, but highly unlikely	Concevable, mais improbable
0,2	Pratically impossible	Pratiquement impossible
0,1*	Virtually impossible	Virtuellement impossible
* valeurs de référence		

Si l'on tente de traiter le risque des radiations ionisantes, il apparaît qu'il est difficile de faire un choix parmi les différentes cotations. La méthode Kinney versus Tihange a donc imaginé un nouveau tableau pour le facteur de probabilité. Ce tableau est donné ci-dessous.

Cotation	Description
10	Dommmage très probable (90 %)
3	Probabilité moyenne de dommmage (25 %)
0,5	Dommmage de type statistique (par exemple le risque de cancer)
0,1	Dommmage suspecté mais non encore démontré

Pour le risque des maladies professionnelles, il est intéressant de voir apparaître dans le tableau de probabilité une cotation pour le risque de type cancer.

En ce qui concerne le tableau des conséquences possibles, la table proposée par Kinney commence au niveau le plus bas par « petite blessure » pour finalement atteindre le niveau le plus haut « plusieurs morts ».

La gradation ne tient pas compte d'un état tel que la maladie. Or, pour les risques pour la santé, cet état est indispensable. La méthode Kinney mise au point à la Zone de Production Nucléaire de Tihange a donc développé un tableau spécifique pour les conséquences possibles liées aux risques pour la santé.

Cotation	Description
15	Décès, cancer
7	Maladie grave
3	Lésion locale
1	Malaise, irritations (peau ou muqueuse)

Pour l'exposition, le système utilisé est relativement simple puisqu'il a été décidé de se baser sur le rapport de la dose reçue et de la dose maximale admissible. Ce rapport multiplié par le nombre de jours de travail permet d'obtenir la durée d'exposition, et donc une cotation.

La méthode développée à Tihange a permis de mettre au point des fiches pratiques utilisables par un grand nombre de personnes avec un minimum d'interprétation possible. Les résultats obtenus par différentes personnes sont normalement analogues.

## **JUSTESSE DE LA METHODE KINNEY VERSUS TIHANGE**

Cette méthode développée à Tihange a un inconvénient majeur : elle n'est pas validée.

En première approche, on peut dire que les modifications mineures apportées à la méthode de Kinney nous autorisent à dire que la méthode de Kinney versus Tihange ne peut pas être fort incorrecte.

Pour valider la nouvelle méthode dans le domaine des radiations ionisantes, on l'utilise en parallèle avec la procédure ALARA actuelle.

### ***Exemple***

Nous allons traiter ici l'exemple d'un individu dont il est prévu qu'il recevra une dose de 1 mSv lors du chantier qu'il doit effectuer. Il faut commencer par évaluer les quatre cotations.

- Probabilité: dommage de type statistique, soit 0,5.
- Exposition: la limite de dose annuelle en ELECTRABEL valant 15 mSv, il reçoit  $1/15^e$  de la limite annuelle, soit une exposition de 15 jours si la dose était uniformément répartie sur les 220 jours de travail de l'année. Ce facteur reçoit donc la cote 3 (selon Kinney).
- Conséquences possibles: le risque extrême des radiations ionisantes à faible dose est le cancer, soit 15.

Le score du risque est donc égal à 22,5, c'est-à-dire, selon Kinney, un risque possible pour lequel aucune correction n'est attendue.

Pour qu'une correction soit requise, il faudrait que, par exemple, la personne reçoive au moins 3 mSv. Ces limites semblent raisonnables en comparaison de la procédure ALARA utilisée actuellement à Tihange.

Cet exemple, pour être correct, ne doit pas être examiné de manière isolée mais doit être confronté à toutes les autres analyses de dosimétrie de chantier. Les conclusions de la méthode de Kinney ne doivent pas exclusivement être prises en absolu mais surtout en relatif afin de mieux établir des priorités.

## **CONCLUSION**

La méthode ALARA et la méthode de Kinney évaluent in fine la rentabilité des mesures de réduction des risques.

D'un côté, cette manière de penser est choquante car les deux notions de sécurité et rentabilité ne font pas bon ménage ensemble.

D'un autre côté, il est évident que, dans le contexte économique actuel, tous les départements d'une entreprise sans aucune exception doivent être optimisés.

Car c'est bien là-dessus qu'il faut insister. On ne parle pas ici de réduire les coûts en matière de sécurité mais bien d'optimiser le rapport avantages/coût, ce qui est fondamentalement différent.

Une attention toute particulière doit être apportée à la qualité des méthodes d'évaluation. C'est une condition sine qua non du bon fonctionnement de ce genre de méthode.

Une validation correcte ou un moyen de contrôler la justesse d'une méthode d'évaluation est la clé de la démarche consistant à concevoir une nouvelle méthode. Une méthode qui surestime les avantages par rapport au coût sera rapidement critiquée par les travailleurs, et dans le cas inverse par la direction. Une absence de critique de la part de ces deux parties est un point d'équilibre qui peut certainement être considéré comme un indice de qualité de la méthode. Mais c'est une technique plutôt délicate pour une validation !

## La radioprotection de terrain en 2000: Meilleure qu'en 1975?

Antoine Debauche  
Institut National des Radioéléments I.R.E.

### ABSTRACT

Après un bref résumé de l'évolution des principes de radioprotection, les principaux problèmes de terrain sont évoqués, en particulier le vieillissement des structures, des compétences humaines et des installations, les problèmes de l'information et de la tendance croissante à détourner les compétences techniques pour faire la sureté nucléaire dans la rue.

- En 1959, suite à l'accident de Windscale, les premières recommandations de l'ICRP ont été publiées et admises au niveau international. C'était le fruit du travail des sommités scientifiques de l'époque et le fameux rapport : ICRP-2.

L'ICRP fonctionnait depuis 1928, elle a pris son nom et sa forme d'organisation actuels en 1950 de manière à couvrir le plus sûrement possible le domaine de la protection contre les rayonnements dont l'utilisation allait croissant.

Ce rapport ICRP-2 est toujours largement à la base de notre fameux "arrêté du 28 février 1963".

A cette époque, la radioprotection fonctionnait un peu comme un code de la route avec des LIMITES CLAIRES, en irradiation externe et les fameuses CMA (concentrations maximales admissibles) pour la contamination.

- En 1977, une grande évolution (pour ne pas dire révolution) est apparue dans le monde de la radioprotection avec la fameuse publication ICRP 26 et ses trois piliers qu'il est bon de rappeler.

Justification :	Il faut faire plus de bien que de mal
Optimisation :	La distance entre le bien et le mal doit être la plus grande possible
Limitation :	Faire en sorte que le risque individuel ne soit jamais inacceptable

Qu'a-t-on retenu de tout cela ?

Un mot "magique" : **ALARA** : As Low As Reasonably Achievable.

- Les limites existaient toujours sous forme de barrière à ne pas dépasser mais il y avait un deuxième mot moins magique, **optimisation** : un petit peu comme Monsieur Jourdain qui faisait de la prose sans le savoir, nous en faisons tous depuis toujours sur le terrain.

Le principe ALARA était philosophiquement un concept avancé, mais tellement plus sujet à interprétation. On s'est notamment beaucoup perdu sur le R de Reasonably qui avait une signification fort différente pour les différents acteurs.

- Un premier fossé a ainsi été creusé entre les scientifiques concepteurs de la radioprotection dans les différents cénacles nationaux et internationaux et les agents contrôle radiations qui, quotidiennement, devaient autoriser ou non des activités concrètes. Il y avait désormais beaucoup plus de matière à discuter.
- Sur le terrain, on a essayé de garder des limites ou de les recréer, c'était beaucoup plus efficace et plus aisé et on a créé des variantes-dérives comme :

ASARA : as simple as reasonably achievable

ALARP : as low as reasonably possible

- A cette époque, juste avant l'accident de Three Miles Island (TMI), on a oublié un facteur essentiel : on n'a pas expliqué au public et à ses représentants politiques la radioactivité et la sûreté nucléaire alors qu'elle se situait à un niveau jamais atteint dans le passé des activités industrielles, et alors que la poussée environnementaliste et écologiste voyait le jour.

Le nucléaire n'était pas parfait et les peurs sont nées suite à quelques accidents. L'absence de certitudes conjuguées à l'absence de limites aussi claires que par le passé a fait naître des doutes. Ces grandes peurs ont été suivies rapidement par de grandes manipulations.

- **La radioprotection commençait non seulement à se faire dans la rue mais via les médias, les hommes politiques et les groupes de pression.**

Ceux qui ne connaissaient rien à la radioactivité se croyaient ou s'instituaient spécialistes et les hommes compétents ou les autorités n'expliquaient pas ou trop peu, sans moyens, maladroitement et souvent contradictoirement.

C'est sur ce terrain là que l'effondrement du bloc soviétique et l'accident de Tchernobyl (1986) ont révélé que tout était loin d'être parfait dans le monde fermé du nucléaire. Le processus s'est donc amplifié. Il n'a toujours pas été remis sur les rails.

La radioprotection se fait désormais dans la rue plus que dans le monde des experts !

- Sur le plan scientifique, en 1997, l'ICRP, dans sa publication 75, a atteint l'âge adulte : les connaissances scientifiques ont suffisamment progressé. L'expérience d'un demi-siècle de radioprotection a permis de prouver qu'on sait

réaliser et entretenir des installations sûres : que sûreté et perfection ne sont pas synonymes. C'est l'époque de l'HOMORADIOPROTECTIONICUS SAPIENS.

Paradoxalement, les dangers majeurs du nucléaire ne sont plus à l'intérieur des installations. La zizanie et les doutes ont envahi le monde politique qui se méfie, à de trop rares exceptions près du secteur, les médias relaient plus souvent la peur que le succès. On parle des risques, on enfermerait bien les terrils dans des stockages géologiques et on veut ignorer les bienfaits comme les services que la médecine nucléaire et de la radiothérapie rendent à l'humanité: oui, la radioactivité, ça sauve des vies et beaucoup de vies. Rien que les activités du site de Fleurus contribuent à en sauver des centaines de milliers voire des millions chaque année et cela n'est pas un bobart.

- On consomme presque tout le temps de certains experts qui ne sont pas des spécialistes en communication à essayer vainement de calmer les peurs irrationnelles des divers acteurs non informés, ce qui peut à terme avoir des conséquences sur la qualité des prestations nécessaires à l'intérieur des installations. Si nous n'y prenons pas garde, on fera plus de pseudo-communication que de technique et cette dérive est à éviter à tout prix.
- A l'aube du 21<sup>ème</sup> siècle, il est donc vital de changer les choses et de combler une série de lacunes sinon la réponse sera clairement non à la question posée dans cet exposé : on ne fera plus de la bonne radioprotection au seuil de l'an 2000 comme on la pratiquait il y a 25 ans car :

1. Les installations de base vont inéluctablement vieillir
2. Les brontosaures du nucléaire s'en sont allés.

En 1993, j'évoquais ce sujet en ces termes :

*A mon sens, le premier et le plus grand des défis que nous devons tous relever et dont on ne parle pas assez pour ne pas dire pas du tout est le suivant :*

*On pourrait le résumer en parlant du problème de compétence posé par le **départ à la retraite des "brontosaures du nucléaire"**.*

*C'était inéluctable. La génération des scientifiques qui ont vécu, depuis la fin de la guerre, les débuts de l'industrie nucléaire et de la radioprotection, a presque complètement quitté ce qu'il est convenu d'appeler la vie active (la prépension en a forcé quelques uns à partir encore plus tôt).*

*Il s'agissait très souvent de véritables encyclopédies, de personnes dont les connaissances étaient très étendues puisqu'elles avaient vécu tout et tout construit depuis le début. Certains auraient dû être remplacés par plusieurs personnes tant il est devenu impossible de tout connaître.*

*Force nous est de constater que dans de nombreux secteurs dépendant directement de l'état et de ses deniers, la relève a été mal préparée : en tout cas très insuffisante et trop tardive. Je l'ai déjà dit, le recours massif à la prépension et la manière dont*

*elle a été appliquée pourrait être un accident nucléaire un peu particulier, le plus important peut être que la Belgique ait eu à subir.*

*Si certaines lacunes sont bien en voie d'être comblées, tout n'est pas résolu, loin s'en faut.*

*D'où l'idée de rassembler les compétences nécessaires au bon fonctionnement de l'état au sein d'**une agence de sécurité nucléaire**. Nous verrons semble-t-il d'ici peu si le résultat est à la hauteur de l'enjeu. Il le faut !*

A vous de juger en 2001 si l'on a efficacement corrigé le tir.

1. Une autre réflexion me vient à l'esprit en "vivant" la radioprotection chaque jour et j'aimerais attirer votre attention sur le thème suivant :

*Il me semble que des trous se creusent entre les gens du terrain qui ont besoin de directives concrètes, les philosophes qui posent les nouvelles bases de la radioprotection au niveau international et les autorités qui sont en charge de les traduire et de les faire appliquer.*

La première législation belge a été, sans conteste, une réussite. Elle a bien évolué depuis le début des années soixante car la base était bonne et saine. C'était une des meilleures d'Europe, elle était très opérationnelle, très pratique car mise en place par des hommes à la fois compétents, réalistes et hommes de principe. Il est normal qu'elle doive être adaptée à nos connaissances d'aujourd'hui et à la réalité de l'an 2000.

Tous ceux qui doivent réaliser la nouvelle base réglementaire devraient ne pas perdre de vue le danger suivant : il ne faut pas que sur papier la philosophie et les principes de base (adaptés au niveau de nos connaissances actuelles) soient très proches de la perfection alors que sur le terrain, un fossé se creuse et que les principes ne soient que peu intégrés dans la radioprotection opérationnelle.

Des expériences récentes dans le monde bien réel du transport de matières radioactives au quotidien prouvent qu'il faut être vigilant. Des risques de déviation en ce sens existent à l'heure actuelle en Belgique.

Si nous devenons de plus en plus sévères en théorie et que les contrôles deviennent de moins en moins efficaces, au gré des difficultés financières et du vieillissement des installations, on aura l'impression que tout va bien et la réalité pourrait être toute autre.

A cet égard, les traits d'union entre les contrôles physiques des installations et les autorités que sont les *organismes agréés* sont de la plus haute importance. Qu'ils soient privés ou publics importe moins que leur efficacité réelle et leur compétence.

2. Enfin, le défi majeur consiste à réussir à informer et à expliquer les réalités de la radioactivité et de ses effets à une très large échelle :



- au public, dès le plus jeune âge
- aux médias
- au monde politique
- aux acteurs impliqués dans les organisations d'urgence

Tout cela parce que la population doit être adulte et informée et qu'il faut casser cette tendance à l'écoterrorisme qui est fort sournoise et pas aussi honnête que l'on pourrait le croire sous son déguisement bon enfant.

Pour ceux qui ne sont pas convaincus de ce risque là, je conseille la lecture de deux livres dont les références sont reprises en annexe. Ils éclairent ce phénomène de manière intéressante.

A propos d'information, il n'est pas normal qu'en Belgique l'ONDRAF soit la seule organisation gouvernementale qui dispose d'une réelle stratégie de communication. Tout le reste relève de l'amateurisme de bonne volonté et de circonstance.

- En conclusion : il faudrait que le R du mot ALARA ne devienne pas le R de Ridiculously ou bien il faudra évacuer la terre à cause de sa radioactivité naturelle... et de la bêtise humaine.

## ***Annexe***

1. Greenpeace – La manipulation: Charles Pellegrini – Editions Anne Carrière – 1995 - Paris
2. L'affaire Tchernobyl – La guerre des rumeurs: Edouard Parker et Yves Lecerf – Politique d'Aujourd'hui – Paris – Presse - Universitaire de France - 1987

## ***Bibliographie***

1. Radioprotection – Revue de la Société Française de Radioprotection – volume 30, n° 1 janvier-mars 1995 – pages 25 à 46
2. Radioprotection – Revue de la Société Française de Radioprotection – volume 30, n° 4 octobre-décembre 1995 – pages 575-576
3. Radioprotection – Revue de la Société Française de Radioprotection – volume 31, n° 4 octobre-décembre 1996 – page 503
4. Radioprotection – Revue de la Société Française de Radioprotection – volume 32, n° 1 janvier-mars 1997 – page 37
5. Radioprotection – Revue de la Société Française de Radioprotection – volume 32, n° 4 octobre-décembre 1997 – pages 491 à 499
6. Radioprotection – Revue de la Société Française de Radioprotection – volume 34, n° 2 avril-juin 1999 – page 217
7. Radioprotection – Revue de la Société Française de Radioprotection – volume 34, n° 3 juillet-septembre 1999 – page 389
8. Radioprotection – Revue de la Société Française de Radioprotection – volume 35, n° 2 avril-juin 2000 – page 239
9. Annals of the ICRP – ICRP Publication 26 – Recommendations of the International Commission on Radiological Protection – Volume 1 n° 3 1977 – Pergamon Press
10. Annals of the ICRP – ICRP Publication 75 – General Principles for the Radiation Protection of Workers – Volume 27 n° 1 1997 – ISSN 0146-6453 – Pergamon
11. Annals of the ICRP – ICRP Publication 78 – Individual monitoring for internal exposure of workers – Replacement of ICRP Publication 54 – Volume 27 n° 3/4 1997 – ISSN 0146-6453 – Pergamon
12. Draft report to the general assembly – United Nations Scientific Committee of the Effects of Atomic Radiation – Forty-ninth session of Unscear – Vienna 2-11 may 2000
13. Institut National des Radioéléments (IRE) – Fleurus – L'importance de la Problématique du Radon en Belgique dans l'ensemble des problèmes de sécurité nucléaire – A. Debauche – Symposium Radon Liège 4-6 novembre 1993
14. Protection contre les rayonnements – Recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique – Rapport du Comité II sur la dose admissible en cas d'irradiation interne – 1959 – Gauthier-Villars Editeur - Paris

## **Het ALARA-principe in de medische omgeving**

Ronald VAN LOON  
Vrije Universiteit Brussel

### **DE OORSPRONG.**

De oorsprong en bronnen van de normen en regelgeving van radioprotectie vinden we internationaal bij de ICRP (International Commission for Ionising Radiation) , een NGO (Niet Goevernemente Organisaatie) welke reeds sinds de twintiger jaren de opdracht gekregen had om een normensysteem op te bouwen dat de gevaren van X-stralen en Radium moest beperken, later uitgebreid tot de risico's verbonden aan ioniserende straling voortgebracht door alle natuurlijke en artificiele bronnen.

De aanbevelingen welke de ICRP voorstelt zijn hoofdzakelijk gebaseerd op het werk van UNSCEAR enerzijds (UNSCEAR: wetenschappelijk comité van de Verenigde Naties) en het BEIR Comité van de National Research Council.

Het ICRP stelt dat haar aanbevelingen slechts principes vooropstelt en de wetenschappelijk basis geeft van een beschermingssysteem, maar dat de competente autoriteiten in elk land hun eigen regelgeving moet opstellen om die principes toe te passen.

### **ICRP EN DE MEDISCHE BLOOTSTELLING.**

Wat de medische blootstellingen betreft heeft de ICRP verschillende welbekende documenten geproduceerd:

- ICRP 33, Protection Against Ionizing Radiation from External Sources Used in Medicine. (1982)
- ICRP 44, Protection of the Patient in Radiation Therapy. (1985)
- ICRP 52, Protection of the Patient in Nuclear Medicine.(1987)
- ICRP 53, Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals(1987)
- ICRP Publication 60, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.
- Summary of the Current ICRP Principles for Protection of the Patient in Diagnostic Radiology. Ann. ICRP 20(3) 1989
- Summary of the current ICRP principles for Protection of the Patient in Nuclear Medicine. Annals of the ICRP 24 (4) 1994.
- Addendum to ICRP Publication 53 - Radiation Doses to Patients from Radiopharmaceuticals. Annals of the ICRP 22 (3) 1991.
- ICRP Publication 80: Radiation Doses to Patients from Radiopharmaceuticals Addendum 2 to ICRP Publication 53

- Ter clarificatie tenslotte, gaf het ICRP de publicatie 73 uit getiteld : “Radiological Protection and Safety in Medicine”.

In deze laatste publicatie stelde zij duidelijk dat:

“The purpose of ICRP Publication 73 is to clarify how the recommended system of radiological protection as described in the 1990 Recommendations of ICRP should be applied in medicine”. Dat rapport was voornamelijk bedoeld voor medici en fysici welke rechtstreeks betrokken waren bij radiologische procedures, nucleaire geneeskunde en radiotherapie alsook voor al diegenen welke verantwoordelijkheden droegen of regelgeving moesten opstellen in die domeinen.

## **WEST-EUROPA EN DE EUROPESE RICHTLIJNEN.**

Vooraleer in West-Europa een land een regelgeving opstelt betreffende ioniserende stralen moet zij rekening houden met het Euratom verdrag, meer bepaald het zogenaamde Artikel 31. Dit artikel zegt meer bijzonder dat “Basisnormen” wat betreft de radioprotectie moeten uitgewerkt worden ten behoeve van de Europese Commissie door een groep experts aangeduid door het wetenschappelijk en technisch Comité van het Euratom verdrag.

In parallel is er nog een andere actor: het IAEA (International Atomic Energy Agency) te Wenen publiceert zelf, ten behoeve van haar eigen activiteiten radioprotectie basisnormen, welke daarbuiten dus niet bindend zijn voor de Europese landen, maar toch als belangrijke inspiratiebron hebben gediend voor het opstellen van de Europese Richtlijnen.

En hier komen we dan dichterbij, bij deze Europese Richtlijnen.

Van belang voor ALARA bij medische toepassingen is de zogenaamde patient richtlijn. De eerste is verschenen in 1984, en werd herzien tot de in sommige middens "beruchte" richtlijn 97/43/Euratom. De eerste mogen we nu gerust vergeten: zij legde enkele grondprincipes vast maar welke vlug te zwak en onvolledig gevonden werden. Daarom de relatief snelle herziening.

Wat zijn de grote elementen?

Een uitgebreid toepassingsgebied: medico-legaal, verzekering, helpers in ziekenhuizen,....

De toepassing van X-stralen gebeurt onder de verantwoordelijkheid van de medisch deskundige, maar praktische delen van de procedure kunnen gedelegeerd worden naar gemachtigde personen

Een zwaar accent wordt gelegd op de opleiding en de bij- en nascholing

Er worden vereisten gesteld aan de kwaliteit van de apparatuur, en controles worden verplicht (zie ref. 8)

Clarificatie wat betreft de verantwoording van de blootstelling en de optimalisering werd ingebouwd.

Er moet kwaliteitsborging gebeuren MET evaluatie van de opgelopen dosis

ALARA zit dus in de optimalisering.

Voor de radiotherapie:

*"Alle dosissen ten gevolge van medische blootstellingen voor radiologische doeleinden, met uitzondering van radiotherapeutische procedures moeten, rekening houdend met economische en sociale factoren, zo laag worden gehouden als, gelet op de noodzaak om de vereiste diagnostische gegevens te verkrijgen, redelijkerwijs mogelijk is"*

En voor de therapie

*"Voor alle medische blootstellingen van personen voor radiotherapeutische doeleinden, moeten blootstellingen van doelvolumes afzonderlijk worden gepland; daarbij moet ermee rekening worden gehouden dat de doses voor niet-doelvolumes en -weefsels zo gering zijn als redelijkerwijs mogelijk is en moeten in overeenstemming zijn met het beoogde radiotherapeutische doel van de blootstelling"*

Vanaf de tachtiger jaren werd door de Europese Commissie hard gewerkt aan eerst een evaluatie van kwaliteit en dosis, en daarna ook aan concrete voorstellen

Een aantal documenten werden gepubliceerd (enkele voorbeelden hieruit: <sup>1</sup>, <sup>2</sup>, <sup>3</sup>, <sup>4</sup>, <sup>5</sup>, <sup>6</sup>, <sup>7</sup>, <sup>8</sup>, <sup>9</sup>, <sup>10</sup>, <sup>11</sup>) met zeer interessante informatie, alhoewel tot stand gekomen door een samenwerking van landen met zeer uiteenlopende tradities van gezondheidszorg.

Het document over mammografie is het enige dat tot hiertoe een Belgische uitloper kent, dat door de autoriteiten waarschijnlijk zal erkend worden in de nabije toekomst.

## **IN BELGIË.**

Het is duidelijk dat voor de Belgische wetgever de Richtlijn 97/43/Euratom zeer belangrijk is, en de aanpassing van de Belgische regelgeving zal leiden tot een aantal ingrijpende maatregelen op diensten radiodiagnostiek, radiotherapie en nucleaire geneeskunde alsook in de privépraktijk. Een ontwerp Koninklijk Besluit neemt de Europese tekst bijna letterlijk over. Zo zullen we inderdaad over een consistente, leesbare tekst beschikken. In enkele artikelen van de richtlijn vraagt de Europese Commissie de lidstaten zelf praktische maatregelen te nemen: zoals bvb. de diagnostische referentieniveaus.

Belangrijke veranderingen voor de betrokken diensten zijn ook te verwachten in de verplichte opleiding stralingsbescherming voor assistent personeel en de verplichting

---

<sup>1</sup> European Guidelines on Quality Criteria for diagnostic Radiographic Images. Report 16260 EN

<sup>2</sup> The 1991 CEC Trial on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images: detailed results and findings. Report EUR 16635 EN European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics. Report EUR 16261 EN

<sup>3</sup> European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics. Report EUR 16261 EN

<sup>4</sup> European Protocol on Dosimetry in Mammography. Report EUR 16263 EN.

<sup>5</sup> Recommendations for patient dosimetry in diagnostic radiology using TLD.

<sup>6</sup> European Guidelines for Quality Assurance in Mammography Screening, 2<sup>nd</sup> Edition. ISBN 92-827-7430-9

<sup>7</sup> Radiation protection and quality assurance in dental radiology. Radiation Protection 81. ISBN 92-827-4530-9

<sup>8</sup> Critères d'acceptabilité des installations de radiologie (y compris de radiothérapie) et de médecine nucléaire. Radiation Protection 91. ISBN 92-828-1141-7

<sup>9</sup> Implementation of the "Medical Exposure Directive" (97/43/Euratom). Proceedings of the international workshop held in Madrid, on 27 April 1998. Radiation Protection 102.

<sup>10</sup> Guidance on Diagnostic Reference Levels (DRL's) for Medical Exposures. Radiation Protection 109.

<sup>11</sup> Stralingsbescherming na jodium-131-therapie. Stralingsbescherming 97. ISBN 92-827-7467-8.

om op alle installaties systemen te plaatsen om de dosis voor de patiënt in te schatten. Inderdaad is "meten" een te moeilijke zaak, en zullen we ons moeten beperken tot een registratie van gegevens welke een "indicatie" opleveren voor de werkelijk opgelopen dosis.

In dit ontwerp Koninklijk Besluit krijgt het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle een belangrijke rol toebedeeld. Voor een groot aantal maatregelen zal het Agentschap de modaliteiten moeten vastleggen.

In deze bijdrage concentreer ik mij vooral op de regelgeving in verband met personen die om medische redenen blootgesteld worden aan ioniserende straling gezien het ALARA kader van deze dag. En dit brengt ons op natuurlijke wijze tot het begrip "kwaliteitsborging": inderdaad is de bedoeling van een radiologisch onderzoek nog altijd het winnen van informatie betreffende de patiënt om een correcte diagnose te stellen. Het ontwerp K.B. stelt, op vraag van de Europese Unie, dat de uitbater van een inrichting 'gepaste' programma's inzake kwaliteitsborging moet uitwerken. Daaronder vallen

- Kwaliteitsbeheersing
- Evaluatie patiëntendosis / toegediende activiteit
- Controle op accidentele blootstelling

Hij moet nagaan of de programma's worden uitgevoerd, en zich laten bijstaan door een deskundige in de medische stralingsfysica.

De bijstand van een deskundige in de stralingsfysica staat nu reeds in de regelgeving. De verplichting tot kwaliteitscontrole wordt nu al opgelegd door het RIZIV. Beide eisen worden echter in de praktijk nauwelijks uitgevoerd. Er wordt ook geen controle op uitgeoefend. De Hoge Gezondheidsraad had daarom in haar rapport <sup>12</sup> over kwaliteitscontrole en stralingsbescherming in de radiologie zeer concrete richtlijnen gevraagd in verband met de inhoud en de uitvoering van kwaliteitscontrole programma's. De regelgever heeft daar geen rekening mee gehouden.

## **ALARA OPERATIONEEL MAKEN IN MEDISCHE PRAKTIJK.**

Wat echter belangrijker is, wat we bereiken in het medisch midden, hoe kunnen we ALARA effectief maken bij de medische praktijk? We mogen niet vergeten dat de expert in stralingsbescherming, de controleorganismen een zeer slechte "reputatie" hebben op het terrein: men ziet hen liever gaan dan komen.

Willen we in de toekomst effectief zijn, moeten we het soepel aanpakken. Per slot van rekening hebben we geen harde waarheden maar zelf nog veel vraagtekens, welke dikwijls naar de experts teruggespeeld worden:

- atoombomoverlevenden welke een lage dosis opgelopen hadden toonden geen hogere kankerincidentie dan de rest van de Japanese bevolking; zelfs schenen zij gezonder dan de niet blootgestelde!

---

<sup>12</sup> Hoge Gezondheidsraad 1999, Kwaliteitscontrole en Stralingsbescherming in de radiologie, Ministerie van Sociale Zaken, Volksgezondheid en Leefmilieu

- in de 17 staten in de V.S.. welke een hoge achtergrondstraling hebben (ongeveer 2 maal het gemiddelde), hebben we een 15% LAGERE overlijdensincidentie te wijten aan kanker;
- volgens een studie over long kanker overlijdens in de V.S. uitgevoerd in 1600 "counties" (= 90% VS bevolking) hebben de counties met de hoogste radon niveau's 40% minder longkankergevallen;
- 75% van de kankergevallen zijn een gevolg van levenswijze: tabak, onevenwicht in voeding, enz.... Doen we daar voldoende aan?
- Wie kan ons zeggen hoeveel overlijdens te wijten zijn aan diagnostische procedures?

## DE OBSESSIE VAN HET GETAL.

Wij zijn als wetenschapper en als burger gewoon met getallen te werken. En getallen dienen dan om te vergelijken...en een hiërarchie op te bouwen: De reeks van natuurlijke getallen kent immers een orde. Vinden we een applicatie tussen een verzameling en de verzameling van de natuurlijke getallen, een 1-1 correspondentie, dan kunnen we een hiërarchie invoeren en zeggen dat iets "beter" of "slechter" is, aan de hand van een groter of kleinere waarde.

Is onze kennis over de verzameling beter, hebben we meerdere parameters, bvb. voor de twee parameters X en Y hebben we de waarden  $X_a, Y_a$  en  $X_b, Y_b$  dan kunnen we niet meer spreken van  $A > B$  of  $A < B$ , maar hoogstens maar van gelijkheid spreken als  $X_a = X_b$  én  $Y_a = Y_b$  of van een ongelijkheid als  $X_a \neq X_b$  en/of  $Y_a \neq Y_b$

Wat geeft dit voor ALARA?

De effectieve dosis drukken we uit met de betrekking  $E = \sum w_T \cdot H$ , dus hebben we een collectie  $H_T$  (daarenboven is  $H_T = w_R \cdot D_{TR}$ , een collectie in de collectie ! ) We beschikken over de gewichtsfactoren voor ogen (0.12), borsten (0.05), slokdarm (0.05),... Wat nu als we voor twee gevallen vinden dat  $E_1 > E_2$  ? Is dan geval 2 "beter" ? Ook als  $H_{borst1} \ll H_{borst2}$  ?

## ALARA NAAR DE PATIËNT TOE EN DE MEDISCHE BEELDVORMER.

Wat doen we met de vraag "zijn X-stralen gevaarlijk"? Als we met de patiënt willen praten, gebruiken we beter geen effectieve dosis getallen. Maar misschien beter een "*equivalente tijd aan achtergrond straling*": een lumbaal wervelzuil onderzoek is equivalent aan 1 jaar achtergrondstraling, maar een thorax opname slechts 10 dagen. Op die manier sensibiliseert men wel, maar tegelijkertijd vermijden we "risico" termen, we introduceren het idee dat straling ook een "natuurlijk" verschijnsel is, en we geven een verklaring welke begrijpbaar is door allen. Met de hulp van de patiënt kunnen we pogen onnodige zwaarbelastende onderzoeken te vermijden en herhalingen van onderzoeken af te remmen. De ideale contactpersoon hiervoor zou de medische beeldvormer kunnen zijn, welke beter kan communiceren dan de fysicus of radioloog: de psychologische afstand is immers kleiner.. Hieruit vloeit voort dat ook de opleiding stralingsbescherming voor de medische beeldvormer zeer belangrijk is.

In België is de afgelopen jaren veel tijd en energie gestopt in een inhaaloperatie voor cursussen stralingsbescherming voor geneesheren.

In tegenstelling tot alle omliggende landen bestond er in België geen verplichte beroepsopleiding voor medische beeldvormers. De bedieners van de toestellen hadden daardoor slechts een beperkte kennis van de weerslag van hun werk op de dosis voor de patiënt. Optimaal uitgevoerde onderzoeken naar dosisefficiëntie toe mocht je van hen dan ook niet verwachten.

In het nieuwe wetsontwerp staat een verplichte cursus stralingsbescherming van 60 uur. Zaken die echter niet onmiddellijk als stralingsbescherming naar voor komen, maar wel belangrijk zijn voor het optimaal uitvoeren van een onderzoek en dus op het ALARA principe slaan (blind positioneren, specifieke onderzoekstechnieken, ontwikkelprocedures) komen hier niet aan bod.

Vergissen we ons daar dan niet van doelwit?

In de radiotherapie alsook in de nucleaire geneeskunde kennen we een relatief lange traditie van stralingsbescherming, wat uitmondt in het toch "zachtjes" toepassen van het ALARA principe. Maar het struikelblok is de radiologie. Daar ontbreken nog verschillende elementen:

- we beschikken niet over referentiedosisen; een inventaris moet nog gemaakt worden en soepele toepassingsmodaliteiten moeten vastgelegd worden.
- protocollen voor kwaliteitsborging moeten opgesteld worden, waarbij vooral een overlast van administratie moet vermeden worden;
- de medische beeldvormer, welke in de eerste lijn staat, moet gevormd worden;
- en "last but not least", het gebruik van diagnose methodes met niet-ioniserende stralen moet naar voren geschoven worden waar mogelijk.

## **ALARA EN HET FEDERAAL AGENTSCHAP VOOR NUCLEAIRE CONTROLE.**

Wil ALARA in de medische sector functioneren, dan is er nog werk aan de winkel! Inderdaad, de lijst van de te verwezenlijken punten is lang:

### *Het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle*

- bepaalt procedures en intervallen voor controle van referentieniveaus
- verstreck richtlijnen in verband met dosisbeperkingen
- verstreck richtlijnen voor instructies voor omgang met 'radioactieve patiënten'
- stelt instructies op voor medisch-juridische procedures
- verstreck passende voorschrijfcriteria voor voorschrijvende geneesheren evenals de bijbehorende stralingsdoses
- definieert de typen onderzoeken en handelingen waarvoor schriftelijke protocollen moeten bestaan
- stelt de modaliteiten op voor het uitvoeren van klinische audits
- stelt criteria op voor, en controleert de acceptatietesten en aanvaardbaarheidscriteria.

Een zware taak? Ja, maar we kunnen toch gebruik maken van een groot aantal in onze buurlanden bestaande regelgevingen en teksten.



Daarbij moeten we trachten een goed evenwicht te vinden tussen teveel papierwerk en toch controlemogelijkheden, tussen de obsessie van de lage dosis en die van een zo perfect mogelijk beeld, tussen autoritair optreden en een samenwerking op het terrein met alle actoren.

## **Optimalisation dans l'organisation de la gestion des déchets à caractère dangereux**

André Régibeau  
Université Catholique de Louvain

### **ABSTRACT**

Les Universités utilisent une grande variété de produits dans leurs laboratoires. De nombreux types de déchets y sont donc générés. Certains de ceux-ci ne présentent pas de danger pour l'homme, d'autres par contre sont dangereux ou présentent un risque radioactif. En Belgique, certains résidus doivent en effet être traités comme déchets dangereux suivant les législations régionales et d'autres comme radioactifs suivant les législations fédérales. Optimiser la gestion de ces deux derniers implique donc d'ouvrir ses horizons à tous les risques potentiels éventuellement présents. Ceci ne peut se réaliser sans une bonne connaissance des problèmes de terrain, des différentes législations, d'une expertise dans différents domaines et sans un bon sens évident. En pratique, cette optimalisation ne sera possible que si l'on réunit toutes les compétences nécessaires, au sein d'un organe centralisé spécialisé dans ce domaine. Le gestionnaire de déchets à caractère dangereux, devant se conformer aux diverses législations concernant chaque type de déchets présents (radioactif, biologique, chimique, ...) pourra alors trouver un mode de gestion pratique réaliste et une voie d'élimination appropriée pour tous les types de déchets, élimination qui tiendra compte des différents risques spécifiques présents.

### **INTRODUCTION**

Toutes les activités de l'homme impliquent la notion de risque. Le Bureau International du Travail (BIT) rapporte que plus d'un million de décès surviennent chaque année lors d'accidents du travail. Le Fond des Accidents du Travail publie les données suivantes pour la Belgique (exercice 1977):

- 229.184 accidents déclarés,
- 106.495 accidents avec incapacité temporaire,
- 15.004 accidents avec incapacité permanente,
- 219 accidents mortels.

Les accidents ne sont pas les seuls risques auxquels sont soumis les travailleurs. Les maladies professionnelles sont également présentes mais souvent bien plus difficiles à mettre en évidence. De nombreuses substances peuvent ainsi affecter la santé humaine que ce soit à court ou à plus long terme : Il s'agit des matières dangereuses. Durant leur extraction, leur transformation, leur transport ou leur manipulation, ces substances peuvent agir soit directement sur l'état du travailleur en induisant une maladie professionnelle, soit indirectement en affectant son patrimoine génétique ou en polluant son environnement.

Lorsque ces matières n'ont plus d'utilité, elles doivent être éliminées. Elles deviennent des déchets. Si ceux-ci contiennent une ou plusieurs substances dangereuses, ils deviennent des déchets à caractère dangereux. Si l'on veut minimiser leur impact sur les travailleurs, la population avoisinante et l'environnement, un système de gestion des déchets doit être établi dans chaque entreprise.

### L'Université Catholique de Louvain (UCL)

Bien qu'étant par définition une institution d'enseignement, l'UCL doit être considérée ici comme une entreprise à part entière, avec du personnel occupé dans ses laboratoires, ateliers et diverses installations expérimentales. Elle est installée sur plusieurs sites localisés dans deux régions différentes, la région wallonne et la région de Bruxelles-Capitale. L'UCL est une entreprise importante, non par les hauts niveaux de risques générés mais par la diversité de ceux-ci et le nombre élevé de travailleurs occupés. C'est l'employeur le plus important du Brabant wallon. Les statistiques 2000-2001 montrent qu'on y trouve:

- 1.332 membres du personnel académique,
- 1.750 membres du personnel scientifique,
- 1.958 membres du personnel administratif et technique,
- 19.843 étudiants,
- près de 5.000 personnes occupées aux Cliniques universitaires St Luc,
- etc ...

### LES DECHETS GENERES A L'UCL

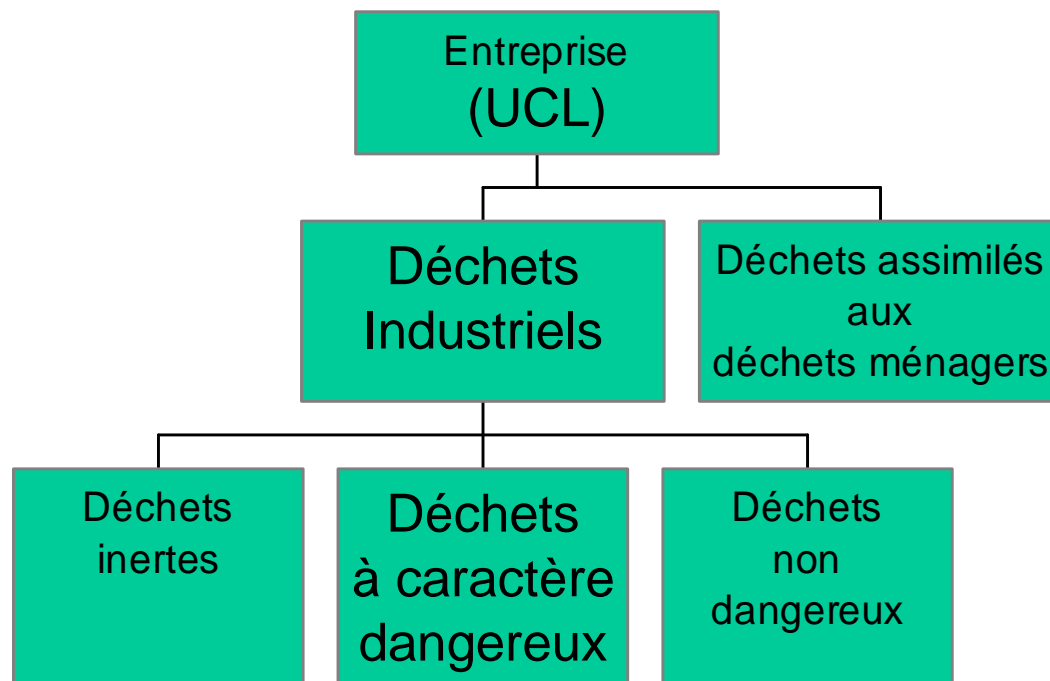


Figure n°1: catégories de déchets produits par l'UCL

Les nombreuses personnes présentes dans les laboratoires didactiques, de recherches ou d'analyses génèrent des quantités très importantes de résidus de tous genres (approximativement 3.500.000 kg par an hors St Luc). La plupart des déchets produits sont relativement inoffensifs. Ce sont des déchets industriels non dangereux, inertes ou des déchets pouvant être assimilés aux déchets ménagers.

D'autres résidus, par contre, présentent un danger certain, que ce soit pour les travailleurs dans un premier temps, ou pour l'environnement et la population dans un second temps. Ce sont les déchets industriels dangereux. Ceux-ci doivent évidemment être gérés au mieux afin de réduire les risques aussi bas que raisonnablement possible.

## **ANALYSE DU PROBLEME**

Si on désire assurer la prévention et la gestion de déchets industriels, on se doit tout d'abord d'établir un état des lieux de son entreprise en se posant une série de questions fondamentales :

- quelle est la taille de l'entreprise ?
- quelle est sa structure organisationnelle ?
- quel est son domaine d'activité ?
- quels sont ses procédés de fabrication ?
- quels sont les produits et matériaux utilisés ?
- quels sont les produits finis et semi-finis ?
- quels sont les sous-produits et les déchets générés ?
- etc...

Au vu de cette première analyse, il est possible de déduire immédiatement que, dans le cas de l'UCL, on a affaire à un grand nombre de producteurs potentiels de déchets. D'autre part, chacun sait que la mission essentielle de l'Université est évidemment éducative et que l'on ne peut manifestement pas, à première vue, la qualifier d'entreprise typiquement industrielle. Il faut donc en étudier les spécificités. On constate ainsi qu'à l'UCL :

- il n'y a pas de vocation industrielle,
- il n'y a pas de procédé industriel classique,
- il y a une utilisation de petites quantités de produits,
- il y a utilisation d'une grande variété de substances,
- il y a absence de centralisation des données,
- il y a une direction bicéphale,
- il y a une responsabilité morcelée,
- etc ...

A l'analyse, on peut ainsi constater que, liberté académique oblige, il n'y a pas de centralisation des données relatives aux produits et matériaux entrant dans l'entreprise (excepté pour les radioisotopes). Chaque unité ou service de recherche commande ce qu'il veut, comme il veut et quand il veut, ceci sans réflexion aucune sur le fait que toute entrée de substance se termine tôt ou tard par la production d'un déchet, et que ce dernier doit être géré par d'autres.

L'UCL est présente sur plusieurs sites. Les 2 principaux sièges d'exploitation sont situés à Louvain-la-Neuve en région wallonne et à Woluwé-St-Lambert en région de Bruxelles-Capitale : 2 régions différentes avec des législations différentes. Les nombreuses ASBL liées à l'UCL, les statuts différents de ses travailleurs (boursiers, chercheurs, doctorands, et même bénévoles) font qu'il est extrêmement malaisé d'avoir une maîtrise totale du personnel et plus particulièrement de tous les produits manipulés et par conséquent de ce que ces personnes sont susceptibles de produire comme déchets. De plus, contrairement à ce qui se passe dans une entreprise normale, le turn-over du personnel, surtout scientifique et étudiant, est très élevé dans une Université.

C'est finalement dans ce contexte relativement difficile que le chef d'entreprise doit assumer sa responsabilité en la matière et qu'il doit théoriquement mettre en place une procédure de gestion des déchets. Comment organiser cette gestion au mieux ? A qui la confier ? Comment classer les déchets ? Quelles doivent être les compétences des gestionnaires ?

## **ORGANISATION DE LA PREVENTION ET DE LA GESTION DES DECHETS A L'UCL**

La gestion des déchets à caractère dangereux, générés par l'Université ou par des sociétés privées qui lui sont liées contractuellement (dans le cadre du programme de sous-traitance pour l'ONDRAF, par exemple) sont gérés par le Centre de Gestion des Déchets qui dispose des compétences nécessaires dans plusieurs domaines. Cette centralisation se justifie entre autres pour les raisons suivantes:

- la classification des déchets est relativement complexe. Déterminer ce qui est dangereux de ce qui ne l'est pas, n'est donc pas toujours évident. Ceci requiert une connaissance approfondie des législations relatives à la fois à la protection de l'environnement et au "*Code du bien-être au travail*",
- les déchets produits dans les laboratoires présentent souvent plusieurs types de dangers associés. Le gestionnaire devra donc avoir une large expérience multidisciplinaire s'il veut évaluer les différents risques liés au stockage et à l'élimination des déchets. La gestion des déchets radioactifs, par exemple, demande une expertise en contrôle des radiations et en technique de mesures des radioisotopes mais impose également d'avoir de bonnes connaissances en chimie et/ou en biologie,
- les relations avec les différentes autorités compétentes (*l'Office Wallon des Déchets, l'Organisme National pour la Gestion des Déchets Radioactifs, l'Institut Bruxellois pour la Gestion de L'Environnement, la Police de l'Environnement de la Région Wallonne, etc.*) sont plus aisées si celles-ci ont un point de contact unique dans l'entreprise,
- un système centralisé doit amener à une plus grande efficacité.

## **CLASSIFICATION DES DECHETS A CARACTERE DANGEREUX**

Parmi les catégories de déchets décrits à la figure n°1, seuls les déchets à caractère dangereux doivent être pris en compte. Ils peuvent être définis comme suit : « *déchets présentant un danger quelconque apte à compromettre la santé de l'homme, que ce soit à court, à long ou à très long terme. Ils peuvent ainsi présenter*

un risque direct en agissant immédiatement sur la santé de l'être humain, soit un risque indirect en affectant son patrimoine génétique ou en polluant son environnement ».

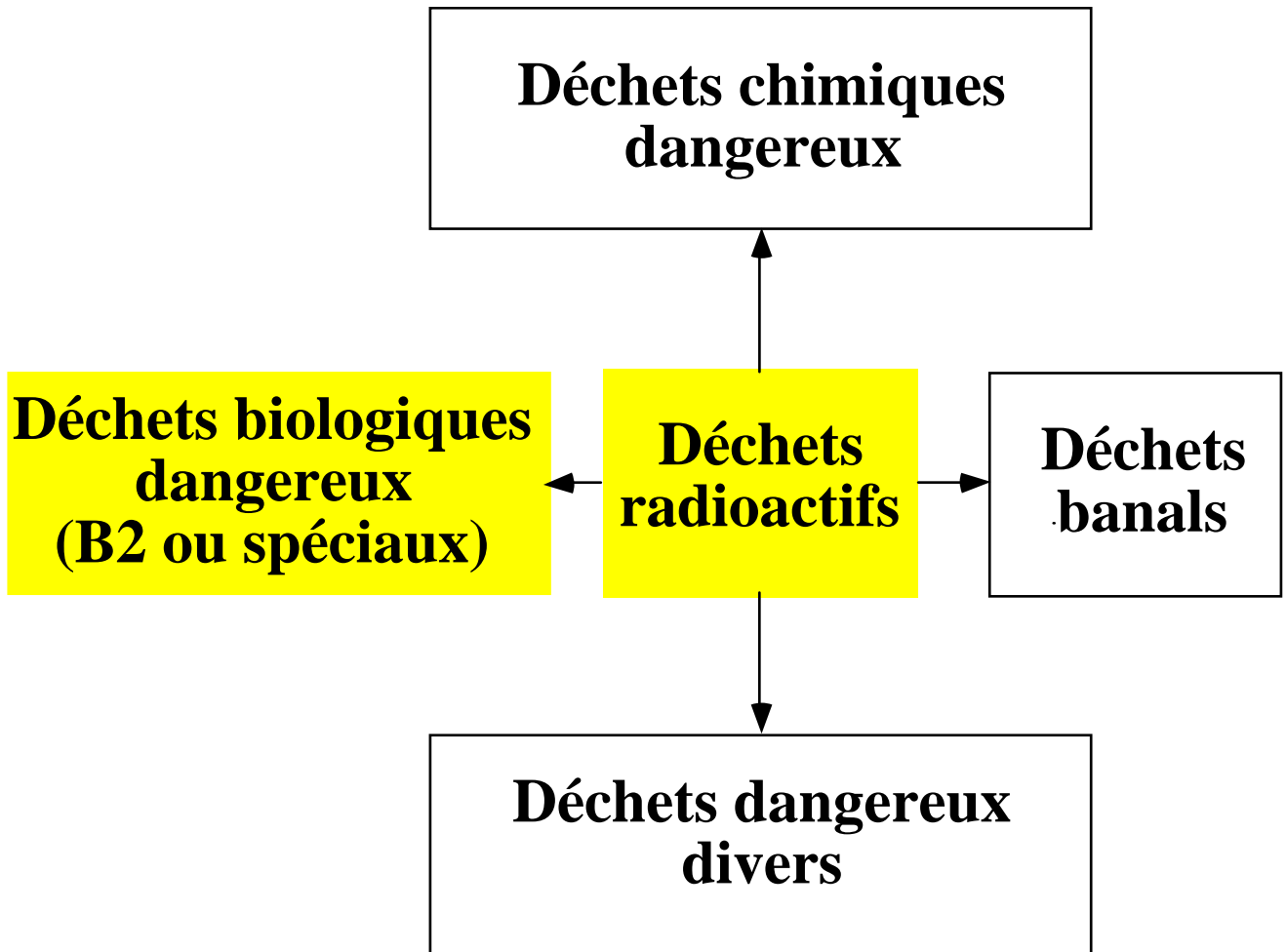


Figure n° 2 : classification des déchets à caractère dangereux

Un déchet chimique dangereux peut être nocif, corrosif, toxique, très toxique, etc...C'est dans cette classe que l'on range les produits de laboratoire. Les déchets biologiques souvent associés aux radioactifs se rencontrent surtout en milieu médical (on les appelle B2 ou spéciaux selon la Région). C'est enfin dans les divers que l'on peut ranger des produits comme l'amiante, les piles, les huiles, l'askarel, etc...

Un déchet radioactif répond, quant à lui, à la définition générale d'un déchet quel qu'il soit, **avec la particularité, toutefois, que des atomes**, constitutifs de certaines de ses molécules minérales ou organiques, sont radioactifs. A l'UCL, ces déchets radioactifs contiennent souvent d'autres substances, radioactives ou non, mais qui présentent des risques supplémentaires. Il peut s'agir de substances toxiques (un pesticide marqué au C-14, par exemple). Les résidus peuvent présenter un risque biologique (échantillon de sang contaminé à l'aide d'un kit RIA) ou être associés à un produit chimique dangereux (fiole de scintillation contenant du scintillateur liquide contaminé par du H-3), etc... Ces types de résidus ne peuvent pas être traités

comme déchets à risque unique. Ils combinent plusieurs dangers. Leur gestion et leur élimination doivent donc prendre toutes ces caractéristiques en compte.

## **CONNAISSANCE DES LEGISLATIONS SUR LES DECHETS A CARACTERE DANGEREUX**

Depuis le 16 juillet 1993, les Régions sont compétentes en matière de gestion de l'environnement et par conséquent, en matière de collecte, de stockage et d'élimination des déchets produits par les entreprises. Ce sont donc ces Régions qui définissent ce qu'est un déchet dangereux et ce que l'on peut en faire.

Toutefois, certains domaines comme les matières radioactives, par exemple, relèvent encore des pouvoirs fédéraux. Dans ce cas, les manipulations de radioisotopes amènent alors à la production d'une nouvelle catégorie de résidus : les déchets radioactifs. Ces derniers sortent évidemment du cadre de compétence des Régions et ne peuvent donc pas être appelés dangereux au sens des différentes législations régionales.

Comme nous l'avons dit précédemment, une Université utilise une grande variété de substances. Elle produit donc tous les types de déchets possibles, qu'ils soient dangereux ou radioactifs. Si les contraintes légales ne sont pas sévères en matière de gestion des déchets non dangereux, il en est tout autrement en ce qui concerne les deux catégories décrites ci-dessus. Pour gérer des déchets à caractère dangereux, il est absolument nécessaire d'avoir une bonne connaissance de toutes les diverses législations régionales et fédérales les concernant (plus de cent Arrêtés royaux).

C'est finalement à la lecture de ces différents textes légaux que l'on peut établir les grandes catégories de déchets à caractère dangereux décrits à la figure n° 2.

## **COMPETENCES ET FORMATION DES GESTIONNAIRES DE DECHETS A CARACTERE DANGEREUX**

La gestion de résidus à caractère dangereux est un vaste domaine multidisciplinaire. Une entreprise telle que l'UCL est tenue de disposer d'une série de spécialistes impliqués dans la gestion et le contrôle des déchets à caractère dangereux en vertu de législations émanant de divers Ministères.

### **Ministère fédéral de l'Emploi et du Travail**

Les textes légaux ont pour objet ici de prévenir les travailleurs contre les risques d'accident ou les risques pouvant nuire à la santé des travailleurs lors de l'exécution de leur travail. La législation impose de disposer dans ce domaine de *conseiller(s) en prévention*. Celui-ci doit faire partie de l'entreprise. Il dépend directement du chef d'entreprise et doit être de niveau approprié au risque et à la taille du siège d'exploitation. *Un conseiller de niveau 2 est ainsi obligatoire dans une entreprise du groupe B. Un conseiller de niveau 1 est nécessaire dans une entreprise du groupe A.*

### **Ministère fédéral de l'Intérieur / Agence fédérale de contrôle nucléaire**

Les textes légaux ont pour objet dans ce cas d'assurer la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes. La

législation impose de disposer dans ce domaine d' Expert(s) agréé(s) de contrôle physique des radiations ionisantes. Celui-ci doit faire partie de l'entreprise disposant d'installations de classe I et IIA et dépend du chef du Service de Prévention et Protection au Travail. Cet expert doit être de niveau approprié à la classe de l'entreprise ou de l'installation. Il est de classe III dans une installation de classe 3 ; il est de classe II dans une installation de classe 2 ; il est de classe I dans une installation de classe 1.

### **Ministère régional de l'Environnement, des ressources naturelles et de l'Agriculture**

Les textes légaux ont pour objet ici d'assurer la conservation de la nature et de l'environnement, y compris notamment la gestion des déchets. Les législations en Wallonie et à Bruxelles suggèrent de disposer de Conseiller(s) en environnement. Ce dernier n'est donc pas encore obligatoire légalement mais il peut ou non faire partie de l'entreprise. Ni son lien hiérarchique, ni son niveau de formation ne sont définis actuellement.

### **Ministère fédéral des communications et de l'infrastructure**

Les textes légaux récents ont pour objet dans ce cas de minimiser les risques d'accident pouvant entraîner une détérioration irréversible de l'environnement, ainsi que des dommages graves portant atteinte à l'intégrité physique de toute personne pouvant entrer en contact avec des marchandises dangereuses. La législation impose de disposer de conseiller(s) à la sécurité. Celui-ci peut faire partie de l'entreprise ou être extérieur à celle-ci. Il dépend comme le conseiller en prévention directement du chef d'entreprise. Enfin, il doit être de formation appropriée :

- au mode de transport (ADR, RID, IATA...),
- à la classe de la matière ou déchet transporté (1 à 9).

## **OPTIMALISATION DANS L'ORGANISATION**

Différentes manières de travailler peuvent être envisagées.

La première consisterait à attribuer à chaque expert ou à chaque service les contrôles qui lui incombent (SIPP, Contrôle physique, Environnement, Expédition et transports):

- le conseiller en prévention s'occuperait de l'incidence des déchets sur la santé des travailleurs,
- l'expert agréé de contrôle des radiations serait seul compétent pour prendre en charge la problématique des déchets radioactifs,
- le contrôle du déchet lors des transports serait sous la responsabilité du conseiller à la sécurité,
- le conseiller en environnement se chargerait de l'incidence sur l'environnement.

Cette manière de cloisonner les tâches et les responsabilités ne nous a pas semblé être la solution optimale. Il n'existe, en effet, pas de véritable barrière entre toutes



ces missions et bien souvent, on a affaire à des déchets à risques conjugués demandant plusieurs compétences simultanées.

L'autre manière de faire est de travailler en traitant un problème depuis le début jusqu'à la fin. C'est ce qu'a choisi l'UCL en créant le Centre de gestion des déchets où on a rassemblé :

- toutes les compétences nécessaires (expert agréé de contrôle physique, conseiller en prévention, conseiller en environnement et conseiller à la sécurité),
- les infrastructures nécessaires (bâtiments, véhicules, matériel de mesure,...),
- les moyens nécessaires (financiers et humains).

## **CONCLUSION**

Optimaliser la gestion des déchets à caractère dangereux consiste finalement à bien identifier le problème, le comprendre, et tout en essayant de respecter les différentes législations, être à même d'en déduire toutes les conséquences possibles sur l'être humain et /ou sur l'environnement. La maîtrise de ces données et le suivi du cheminement suivant ne peuvent qu'amener le gestionnaire à appliquer le principe ALARA dans ce domaine. Il faut:

- connaître son entreprise,
- étudier ses spécificités,
- inventorier tous les déchets industriels qu'elle produit,
- prendre connaissance de toutes les diverses législations en matière de déchets dangereux,
- obtenir les compétences voulues ou disposer des différents « experts » nécessaires,
- centraliser et planifier la gestion,
- établir des processus de collecte et d'élimination sur le terrain,
- appliquer des contrôles et apporter les actions correctrices nécessaires,
- tenir à jour des données statistiques pour étude et actions ultérieures.

## **Samenvatting**

De universiteiten gebruiken een groot aantal zeer uiteenlopende producten in hun laboratoria. Allerhande soorten afval worden er geproduceerd. Sommige bieden geen gevaar voor de mens, andere zijn gevaarlijk of zijn radioactief. In België dienen bepaalde afvalstoffen als gevaarlijk behandeld te worden volgens de regionale wetten en andere als radioactief volgens de federale wetgeving. Een geoptimaliseerd beleid van deze twee soorten afvalstoffen vraagt een verbreding van het blikveld tot alle mogelijk aanwezige risico's. Dat is niet mogelijk zonder een goede kennis van het terrein, de wetgeving, de verschillende vakgebieden, en ook zonder gezond verstand. Praktisch is deze optimalisering slechts te verwezenlijken wanneer de noodzakelijke competenties in één, gespecialiseerd centraal orgaan verenigd zijn. De beleidsvoerder, die de bestaande wetgeving moet naleven voor alle aanwezige

afvalstoffen (radioactieve, chemische, biologische), is dan in staat een realistisch praktisch beleid in te voeren dat het aangepast verwijderen van de verschillende soorten afval mogelijk maakt rekening houdend met de specifieke risico's.

## **L'optimisation de la protection radiologique au sein des Cliniques universitaires de l'UCL**

Jacques Caussin  
Service de radioprotection de l'UCL

### **RESUME**

Les mesures fréquentes de l'irradiation et de la contamination radioactive éventuelle, particulièrement lors de la mise en exploitation de nouvelles techniques ainsi que le contrôle des moyens de protection font partie des procédures mises en place au sein des Cliniques universitaires de l'UCL pour optimiser la radioprotection. L'examen des doses d'irradiation enregistrées par les dosimètres personnels, suivi d'une enquête en cas de dose anormale, et la transmission rapide au personnel des valeurs des doses d'irradiation le concernant a souvent permis une amélioration de la radioprotection. La réalisation de dosimétries de site, à l'aide de dosimètres thermoluminescents est également utilisée pour mettre en évidence les améliorations à apporter aux blindages de protection ou aux procédures de travail. Lors de la conception de nouvelles installations ou la modification d'installations existantes, les blindages de protection des pupitres de commande sont généralement établis en fonction du respect de la limite de dose pour le public, même si l'accès est réservé à du personnel professionnellement exposé. Cependant, les facteurs coûts et confort du patient ne doivent pas être négligés particulièrement lors de l'adaptation d'installations existantes à de nouvelles techniques (par exemple la caméra à positrons), ou de la mise en place de nouveaux traitements.

### **I. INTRODUCTION**

Ces dernières années, une attention particulière a été portée à la diminution des doses d'irradiation dans le domaine médical. De nouveaux textes législatifs ont été publiés pour contrôler et diminuer l'exposition des patients, du personnel et des personnes du public. Comme il n'est pas question de se passer de données permettant un diagnostic de plus en plus précis ou de réaliser un traitement thérapeutique efficace, il est évident qu'une démarche d'optimisation a été réalisée. Celle-ci n'est pas nouvelle en matière de radioprotection et était déjà un des principes de base de la radioprotection dans l'ancienne législation découlant de la CIPR 26. De ce fait, il peut être intéressant d'examiner comment l'optimisation de la protection radiologique a été mise en oeuvre au sein des cliniques universitaires de l'UCL (Cliniques universitaires Saint-Luc à Bruxelles et Cliniques universitaires de Mont-Godinne). Pour ces deux institutions, les missions de contrôle physique sont assurées par le service de radioprotection de l'UCL.

## II. MISE EN PLACE DES PROTECTIONS

Dans les institutions hospitalières, la détermination de plusieurs paramètres relatifs à l'utilisation des radiations ionisantes est malaisée. Ainsi, la détermination de l'épaisseur de blindage d'une salle de radiologie nécessite la connaissance du nombre d'examens radiologiques avec les valeurs de la tension, du courant, du temps d'utilisation et de la position du tube de rayons X. De ce fait les valeurs prises en compte pour effectuer le calcul des protections constituent souvent la première démarche d'optimisation. Le choix d'une valeur trop importante peut entraîner un coût élevé et injustifié des protections, mais une valeur trop basse limitera l'utilisation de l'installation. De plus, les développements futurs doivent être prévus.

Les blindages de protection des pupitres de commande sont généralement établis en fonction du respect de la limite de dose pour le public, même si l'accès à ces lieux est réservé au personnel professionnellement exposé. Cette politique permet de diminuer l'irradiation du personnel sans augmenter exagérément le coût de la protection. En effet, lorsque la présence d'une personne n'est pas nécessaire près de l'appareil de radiologie proprement dit, cette personne peut trouver un emplacement où il y a peu d'irradiation.

En pratique, nous déterminons les protections des salles contenant des appareils de rayons X en prenant en compte une utilisation hebdomadaire standardisée en fonction du type d'examens effectués dans ces salles (radiologie conventionnelle, radiologie interventionnelle, scanners). Par contre, lorsqu'il s'agit d'installations telles que des chambres blindées destinées à l'hospitalisation de patients subissant un traitement de radiothérapie métabolique, il nous est possible de préciser les débits de dose d'irradiation que ces activités entraînent et ensuite d'utiliser ces valeurs pour la détermination des épaisseurs de blindage .

Il est évident que l'optimisation des protections est plus simple à réaliser dans certains bâtiments, comme les bâtiments en construction. Cependant l'apparition de nouvelles techniques et de nouveaux appareillages est fréquente aux cliniques universitaires. De ce fait , il s'avère parfois nécessaire de modifier des locaux existants pour effectuer ces nouvelles activités en toute sécurité. Parfois, l'ajout aux parois de blocs de béton pour réaliser la protection ne pose pas de problème, la limite de charge au sol n'étant pas dépassée. C'est la situation que nous avons rencontrée à l'occasion de l'installation d'une caméra à positrons aux cliniques de Mont Godinne. Ces locaux étaient en effet situés au niveau du sol.

Par contre, l'adaptation des blindages peut nécessiter des travaux importants notamment lorsque les locaux sont situés à l'étage. Dans ce cas des renforcements de la structure du bâtiment peuvent être nécessaires. Une étude, en collaboration avec les services techniques, doit, dans ce cas, déterminer les meilleures solutions possibles pour maintenir une protection correcte. Il n'est évidemment pas question de protéger moins efficacement les personnes. Cette situation s'est présentée aux cliniques Saint-Luc à Bruxelles où la caméra à positrons était installée au premier étage.

### **III. CENTRALISATION DE LA RECEPTION DES PRODUITS RADIOACTIFS**

Une telle procédure permet de réaliser l'inventaire légal des produits radioactifs utilisés dans l'institution et d'apporter des informations en ce qui concerne:

- les radio-isotopes mis en oeuvre,
- les activités utilisées ou stockées,
- les lieux d'utilisation,
- les dates d'utilisation.

Lorsque le service de contrôle physique dispose de ces données, il lui est plus aisé de vérifier si l'utilisation ou le stockage des substances radioactives sont effectués dans des installations adaptées aux exigences de protection. Il s'agit d'une action préventive.

L'efficacité des contrôles de radioprotection est également améliorée pendant et après les manipulations de ces produits. Par exemple, les mesures des débits de dose peuvent être effectuées au début du travail ou pendant certaines phases critiques. Il en est de même des mesures de la contamination radioactive des personnes et des installations qui peuvent être réalisées aux moments les plus opportuns.

Ces informations importantes peuvent être exploitées lors de la gestion des déchets radioactifs.

Bien que cette charge n'incombe pas particulièrement au service de contrôle physique, c'est le service de radioprotection lui-même qui réceptionne les produits radioactifs de l'ensemble du site de l'UCL à Bruxelles. Par contre, aux Cliniques universitaires de Mont-Godinne l'ensemble des produits radioactifs est livré au service de Médecine nucléaire, ce service étant le seul qui utilise des radio-isotopes.

### **IV. MESURES DE LA CONTAMINATION RADIOACTIVE**

Ces mesures sont effectuées sans avertissement, dans le cadre de contrôles de routine. Le déroulement des tâches impliquant l'emploi des radiations ionisantes est, de ce fait, vérifié en situation réelle. Ceci est un des avantages d'un service de radioprotection interne à l'entreprise.

En plus de ces contrôles de routine, d'autres mesures sont associées à la mise en exécution de nouvelles procédures, à l'utilisation de quantités importantes de produits radioactifs ou à l'entrée en service de personnes nouvellement affectées à certains travaux impliquant l'utilisation de radiations ionisantes.

Il est évident que ces vérifications s'effectuent dans un esprit de collaboration avec le personnel des différents services. Le but étant d'éviter toute contamination radioactive de personnes, de locaux ou de matériel, autre que celui utilisé pour les manipulations proprement dites. De nombreux contrôles sont réalisés à la demande des utilisateurs eux-mêmes. Cette dernière démarche est évidemment encouragée par le contrôle physique.

## V MESURES DE L'IRRADIATION

La politique de mesures et de contrôles mise en oeuvre pour l'évaluation des contaminations radioactives est adoptée pour la détermination de l'irradiation. En conséquence, des mesures du débit de la dose équivalente ambiante sont effectuées, soit à l'improviste, ou à la demande des utilisateurs, ou lors de travaux présentant des risques importants d'irradiation.

La mise en service de locaux ou appareils, ainsi que l'établissement de nouvelles procédures, font l'objet d'une campagne de mesure de l'irradiation.

La détermination de la dose équivalente ambiante intégrée sur une période d'une semaine est indispensable pour vérifier la conformité des blindages de protection des locaux ou des postes de travail.

La dose équivalente ambiante hebdomadaire est souvent déduite de la détermination des débits de dose équivalente ambiante mesurés à l'aide des appareils portatifs.

Cependant, si les valeurs du débit de dose équivalente ambiante, autour d'une installation, subissent des fluctuations importantes, il peut s'avérer impossible d'effectuer une évaluation réaliste de la dose équivalente ambiante intégrée sur une durée de temps déterminée. C'est le cas, par exemple, des salles de radiologie, où la connaissance de la valeur des paramètres utilisés (temps, direction de tir, dimension du champ, tension, courant, etc ...) est complexe car ceux-ci se modifient fréquemment. Dans ce cas, la meilleure méthode pour effectuer ces évaluations consiste à placer des dosimètres thermoluminescents aux différents emplacements où la dose intégrée hebdomadaire doit être connue.

La durée de la mesure dépend de l'ordre de grandeur des doses à déterminer. Lorsque la dose intégrée ne dépasse pas les limites de doses des personnes du public, c'est-à-dire 0,02 mSv par semaine, les dosimètres devront être exposés pendant une dizaine de semaines, minimum, pour disposer de données exploitables. La nécessité d'une aussi longue période de mesure est la conséquence de la sensibilité du dosimètre aux basses doses. De plus, une longue période représente une situation beaucoup plus réaliste car les périodes d'activité moins importantes ont peu d'effet sur les valeurs enregistrées.

Un exemple d'une cartographie réalisée à l'aide de dosimètres thermoluminescents est donné à la **figure 1**. Cet exemple concerne une installation qui a été conçue sur base des critères provenant du rapport n° 26 la CIPR.

L'épaisseur de plomb exigée lors de la construction de ce local était de 1,5 mm de plomb. Il est cependant possible que l'épaisseur réelle de plomb soit de 2 mm. L'examen de ces mesures doit permettre de prendre les décisions, en ce qui concerne la mise en conformité, par rapport aux limites de dose mentionnées dans le rapport n° 60 de la CIPR et dans la future législation belge.

Cet exemple permet également d'apprécier les emplacements où les doses sont les plus importantes ainsi que l'efficacité des dispositifs de protection, comme le blindage du pupitre de commande. Ainsi une mauvaise procédure peut être mise en évidence, à savoir une porte qui n'est pas régulièrement fermée. En effet, la valeur



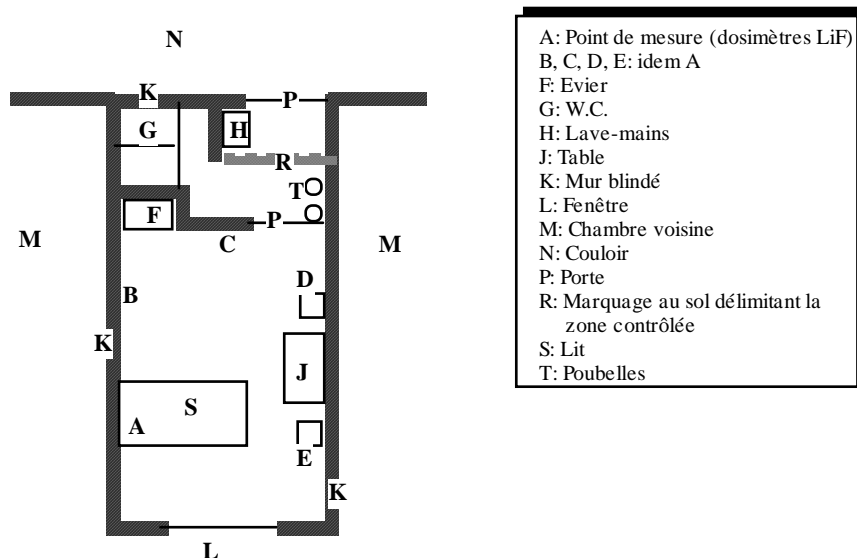


Figure 2: Evaluation de la dose équivalente ambiante (mSv) cumulée à l'intérieur de la chambre blindée, durant l'hospitalisation d'un patient faisant l'objet d'un traitement de radiothérapie métabolique à l'aide d'iode-131 pour un cancer de la thyroïde. Les mesures sont effectuées à l'aide de dosimètres thermoluminescents TLD-100 placés sur les murs. La période de mesure est la période d'hospitalisation d'un patient. Le lit du patient se trouve soit en position A, soit en position B. Le signe "\*", dans le tableau, précise sa position sur le plan. Les mesures ont été effectuées pour différentes activités d'iode-131 pour des patients à fonction rénale normale et pour des patients hémodialysés. Les patients hémodialysés éliminent l'iode-131 durant les séances de dialyse. De ce fait, la dose équivalente ambiante cumulée durant leur hospitalisation est, pour une même quantité d'iode-131 administrée, plus importante que la dose équivalente ambiante cumulée lors de l'hospitalisation de patients à fonction rénale normale.

Points de mesure	Dose équivalente ambiante (mSv) cumulée durant l'hospitalisation en chambre blindée. La mesure est effectuée à l'intérieur de la chambre					
	Patients à fonction rénale normale, traités pour un cancer de la thyroïde			Patients hémodialysés, traités pour un cancer de la thyroïde		
	Activité administrée			Activité administrée		
	7 400 MBq	3 700 MBq	3 700 MBq	1 850 MBq	1 850 MBq	925 MBq
A	1,31	<b>1,35 *</b>	<b>1,2 *</b>	<b>1,41 *</b>	1,02	<b>0,6 *</b>
B	<b>3,72 *</b>	0,7	0,7	0,51	<b>1,48 *</b>	0,32
C	2,03	0,4	0,5	0,4	1,31	0,18
D	1,28	0,72	0,6	0,55	0,93	0,28
E	1,13	0,79	0,8	0,85	0,84	0,28

chambre. Ceci permet d'évaluer l'irradiation provoquée par un patient durant les deux jours d'hospitalisation. Le but n'est pas de déterminer l'efficacité du blindage



mais plutôt de vérifier si la valeur de la dose intégrée hebdomadaire prise en considération pour les calculs de blindage est une bonne hypothèse. Les contraintes liées à la construction nous obligent en effet à ne pas surévaluer les blindages de protection. De ce fait, la dose intégrée tient compte non seulement de l'activité administrée au patient mais également de son métabolisme, c'est-à-dire la vitesse à laquelle il élimine cet iode-131. Le tableau donne quelques valeurs.

## VI. DOSIMETRIE DU PERSONNEL

L'optimisation de la radioprotection doit permettre la réalisation d'activités nécessitant l'utilisation de radiations ionisantes en délivrant la dose la plus faible possible. Ceci implique un examen minutieux des doses d'irradiation délivrées aux personnes professionnellement exposées. Ces doses doivent également être portées à la connaissance des utilisateurs, aussi rapidement que possible. Les données provenant de la dosimétrie du personnel sont donc un des éléments importants de toute démarche d'optimisation de la radioprotection.

Au sein des cliniques universitaires de l'UCL, les relevés des doses d'irradiation accompagnent les dosimètres, lors de leur retour aux différents services. Ils se présentent sous la forme d'un tableau reprenant, pour tous les membres du personnel d'un service, les valeurs dosimétriques enregistrées durant les douze derniers mois. Le dépassement éventuel des limites de dose y est clairement mentionné. Une indication de préalerte est donnée soit en cas de dose importante, soit en cas de dose anormalement élevée par rapport à la moyenne des valeurs relevées sur une période de 3 mois. Cette procédure permet à l'utilisateur d'améliorer sa protection et d'effectuer éventuellement une enquête, même si cette dose anormale est inférieure aux limites de dose.

Plus le délai entre la réalisation de l'acte qui a provoqué une dose anormale ou importante est court, plus il sera facile d'identifier la procédure ou la protection à améliorer. Le dosimètre électronique à lecture directe est également utilisé, en complément, pour détecter rapidement les causes de doses importantes.

## VII. ETUDE DE LA DOSE COLLECTIVE

Les moyens informatiques actuels permettent d'évaluer assez facilement la distribution et l'évolution de la dose collective. Ce type d'étude peut être utile pour définir les objectifs d'une politique d'optimisation de la protection et évaluer les effets de cette politique.

Un premier exemple concerne les services de médecine nucléaire. Plusieurs groupes de personnes travaillant dans ce service au sein des Cliniques Saint-Luc à Bruxelles (**figure 3**), ont été constitués en se basant sur la dose équivalente annuelle reçue par ces personnes. Pour chacun des groupes, les valeurs étaient les suivantes:

- le premier groupe : moins de 0,5 mSv
- le deuxième groupe : à partir de 0,5 mSv et inférieure à 5 mSv
- le troisième groupe : à partir de 5 mSv et inférieure à 15 mSv
- le quatrième groupe : à partir de 15 mSv et inférieure à 50 mSv
- le cinquième groupe : supérieure ou égale à 50 mSv ou plus.

Médecine nucléaire - Cliniques Saint-Luc à 1200 Bruxelles

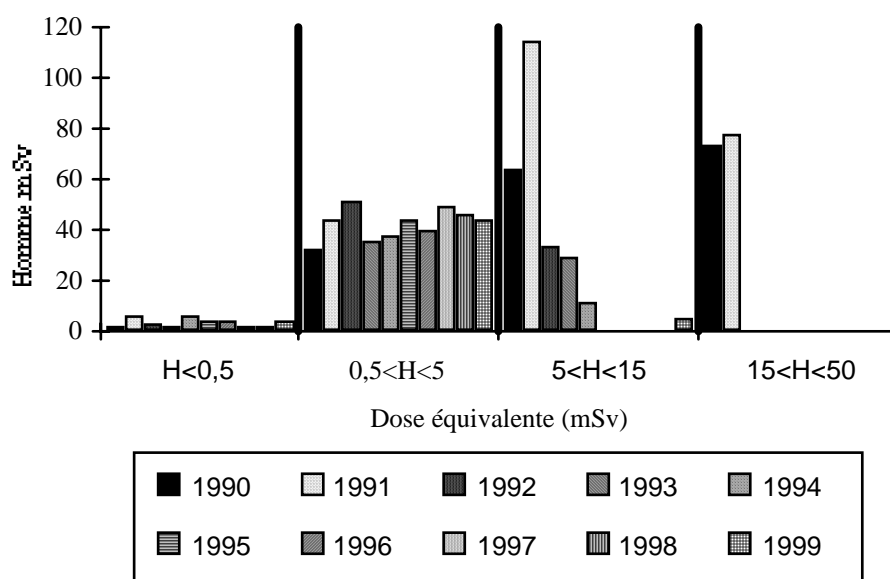


Figure 3: Evolution de la dose collective du personnel professionnellement exposé du service de médecine nucléaire des cliniques Saint-Luc à Bruxelles. Les groupes ont été constitués sur base de la dose équivalente annuelle reçue par ces personnes.

Depuis 1990, la dose collective annuelle a été établie, pour chacun de ces groupes. En 1990 et 1991, la dose équivalente annuelle de plusieurs personnes dépassait la valeur de 15 mSv. Cette valeur était proche des limites de doses préconisées dans le rapport 60 de la CIPR. Une politique d'optimisation de la protection fut mise en oeuvre par les membres du service de médecine nucléaire en concertation avec le service de radioprotection.

Dans la salle de préparation des produits radioactifs ("chambre chaude"), les postes de travail furent déplacés ou modifiés, des blindages de protection furent ajoutés, les procédures de travail réorganisées. Des dosimètres électroniques à lecture directe furent également acquis par le service de médecine nucléaire. Le résultat fut spectaculaire. Depuis 1992, il n'y eu plus de dose équivalente annuelle supérieure à 15 mSv. De même entre 1995 et 1998, ces doses annuelles restèrent inférieures à 5 mSv. Le fait que la dose collective de l'ensemble du personnel de ce service ait diminué de façon importante à partir 1992 montre que cette baisse est due à une amélioration de la protection et non à un transfert de risque d'une personne à d'autres (**figure 5**).

Au vu de ces résultats, une démarche similaire a été réalisée dans le service de médecine nucléaire de Mont-Godinne (**figure 4**). La dose équivalente annuelle de plusieurs personnes était supérieure à 15 mSv. De plus, on assistait à une augmentation de la dose collective annuelle pour ce service. La modification des surfaces de travail dans le local "chambre chaude", avec mise en place de nouveaux blindages de protection, l'utilisation de dosimètres électroniques à lecture directe, ont permis de réduire les doses individuelles annuelles. Depuis 1997, ces doses sont restées sous la valeur de 15 mSv. La diminution de la dose collective de ce service confirme cette amélioration de la protection.

Evolution de la dose collective - Médecine nucléaire - Cliniques de Mont-Godinne

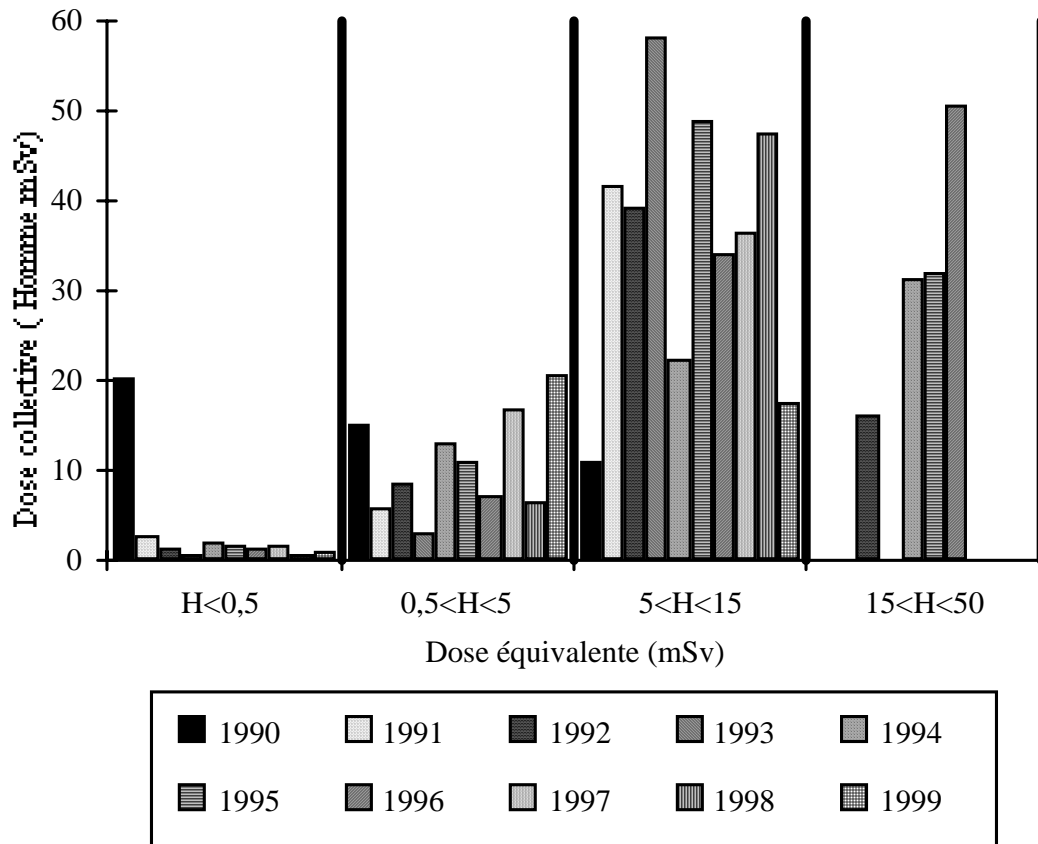


Figure 4: Evolution de la dose collective du personnel professionnellement exposé du service de médecine nucléaire des cliniques de Mont-Godinne. Les groupes ont été constitués sur base de la dose équivalente annuelle reçue par ces personnes.

Evolution de la dose collective - Médecine nucléaire

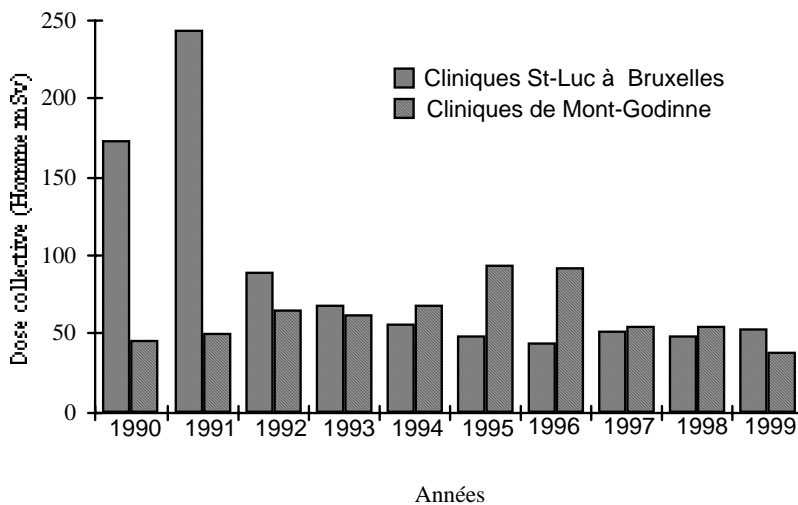


Figure 5: Evolution de la dose collective de l'ensemble du personnel professionnellement exposé du service de médecine nucléaire de chacune des deux cliniques. La diminution de la dose collective est confirmée par ce graphique.

La même étude a été réalisée en ce qui concerne les doses équivalentes annuelles du personnel qui travaille dans les services équipés d'installations fixes de radiologie.

Les interventions et examens réalisés en radiologie interventionnelle requièrent des durées de radioscopie importantes, avec présence d'une ou de plusieurs personnes près de la table de radiologie. Dans ces cas, la radioscopie est utilisée pour visualiser l'évolution d'une intervention. La durée de la radioscopie ne peut être diminuée même si elle devient anormalement longue, par exemple, suite à une difficulté rencontrée lors de l'intervention. Cela pose des problèmes de radioprotection particuliers.

Nous souhaitons établir des statistiques particulières pour les services effectuant des actes de radiologie interventionnelle. Ce n'est cependant pas chose aisée car les actes de radiologie interventionnelle sont parfois effectués au sein du service de radiologie, parfois au sein de services plus spécialisés comme la cardiologie, la gastro-entérologie ou l'urologie. De plus, certaines personnes, particulièrement les médecins en cours de formation, effectuent de la radiologie interventionnelle et de la radiologie conventionnelle. Il est impératif de tenir compte de cet élément lors des analyses des résultats et d'éviter la comparaison entre les deux institutions car les situations ne sont pas identiques.

Les données concernant le service de radiologie (**figures 6 et 9**) montrent une diminution des doses équivalentes individuelles annuelles et des doses collectives depuis 1992. Certaines années, les doses équivalentes annuelles ne dépassent pas 5 mSv. Le renouvellement progressif des installations les plus anciennes par du matériel présentant de meilleures protections est certainement une des causes de cette diminution de dose. Des campagnes d'information en radioprotection ont également été réalisées. Aux cliniques Saint-Luc, certains actes de chirurgie interventionnelle sont effectués au sein de ce service, d'autres dans des services particuliers (cardiologie, gastro-entérologie, urologie). Aux cliniques de Mont-Godinne, tous les actes de radiologie interventionnelle autres que ceux concernant la cardiologie sont effectués dans le service de radiologie.

L'examen des statistiques, concernant le groupe radiologie interventionnelle externe au service de radiologie, nécessite quelques commentaires particuliers. Aux Cliniques Saint-Luc à Bruxelles (**figures 7 et 8**), seules les doses collectives du groupe de personnes recevant une dose efficace annuelle inférieure à 5 mSv a diminué, mais il ne semble pas avoir de réelle amélioration de la protection des personnes des autres groupes. Cela pourrait indiquer que les personnes dont la présence n'était pas indispensable ne sont pas restées dans le local où fonctionnait l'appareil de RX ou se sont placées derrière les écrans de protection. Par contre, le personnel qui effectuait l'intervention (médecins ou infirmières) n'a pu améliorer sa protection. Il faut également signaler que quelques personnes qui manipulent du Tl-201 et du Tc-99m (examens de test à l'effort) font partie de ce groupe.

Aux cliniques universitaires de Mont-Godinne (**figures 10 et 11**), seule l'évolution de la dose collective du personnel effectuant des actes de radiologie interventionnelle en cardiologie a pu être séparée des autres. La dose collective de tous les groupes de personnel tels qu'ils ont été définis précédemment diminue, cette diminution étant plus importante pour le groupe dont la dose équivalente individuelle est comprise entre 15 et 50 mSv.

## **VIII. L'INFORMATION EN RADIOPROTECTION**

En plus des différents éléments qui doivent légalement faire partie de l'information en radioprotection, les résultats de plusieurs campagnes de mesures ont fait l'objet de présentations avec transparents. Lorsqu'un problème particulier s'est posé, des séances d'information ont également été organisées au sein d'un service. Le dialogue s'établit plus aisément devant un auditoire restreint.

Des exposés relatifs aux problèmes de radioprotection susceptibles de se présenter lors d'actes ou de situations précises, dans les services de radiologie, ont également été présentés par des membres de ces services. Des diapositives illustraient ces situations.

Ces séances ont probablement été efficaces pour provoquer une diminution des doses .

La présence d'un service de contrôle physique local facilite également l'échange d'informations, lorsque des inquiétudes ou des situations anormales se produisent. Les personnes se connaissent particulièrement bien et le dialogue est plus rapide, moins hiérarchisé, plus discret, plus convivial et plus rapide que l'attente du passage de l'expert de l'organisme agréé.

## **IX. VERIFICATION DES MOYENS DE PROTECTION**

Ce type de matériel comprend, entre autres, des gants jetables, les "overshoes", des vêtements de travail, du papier de protection des surfaces de travail. Il doit être disponible en nombre suffisant et être correctement utilisé.

Les tabliers plombés utilisés en radiologie comme moyen de protection font actuellement l'objet d'une attention particulière. Un contrôle de leur état a été réalisé pour la plupart d'entre eux. Un examen visuel est effectué lors des visites de contrôle des installations. Ces deux dernières années, cet examen a été complété par un examen radiologique.

L'examen à l'aide de rayons X a confirmé le mauvais état de certains tabliers. Pour d'autres, il a permis de déceler des déchirures ou un début d'usure invisible à l'oeil nu. Nous avons constaté que certains modèles munis d'une ceinture présentait à cet endroit une usure anormale. Ces défauts de protection, très localisés, n'auront aucune influence sur les valeurs des doses mesurées par les dosimètres, mais ils pourraient provoquer des irradiations locales non justifiées du personnel.

## **X. CONCLUSION**

Il est évident que les démarches d'optimisation de la radioprotection du type de celles décrites dans cet article ont permis de diminuer les doses d'irradiation délivrées au personnel, au patient ou au public. D'autres procédures permettront probablement d'encore diminuer certaines doses. L'effort exigé, par le législateur, en ce qui concerne une meilleure connaissance de la dose d'irradiation délivrée au patient en est un exemple. Ces diminutions de dose deviendront de plus en plus difficiles à réaliser. On peut donc dire que le mot "optimisation" ou l'acronyme "ALARA" prendront toute leur importance d'autant plus que dans le domaine

médical, le patient doit, non seulement bénéficier d'un diagnostic et d'un traitement thérapeutique correct, mais qu'il faut également veiller à son confort et que les procédures mises en place ne doivent pas le traumatiser davantage.

Evolution de la dose collective - Service de radiologie (radiologie conventionnelle, scanners, radiologie interventionnelle effectuée dans ce service) - Cliniques Saint-Luc à 1200 Bruxelles

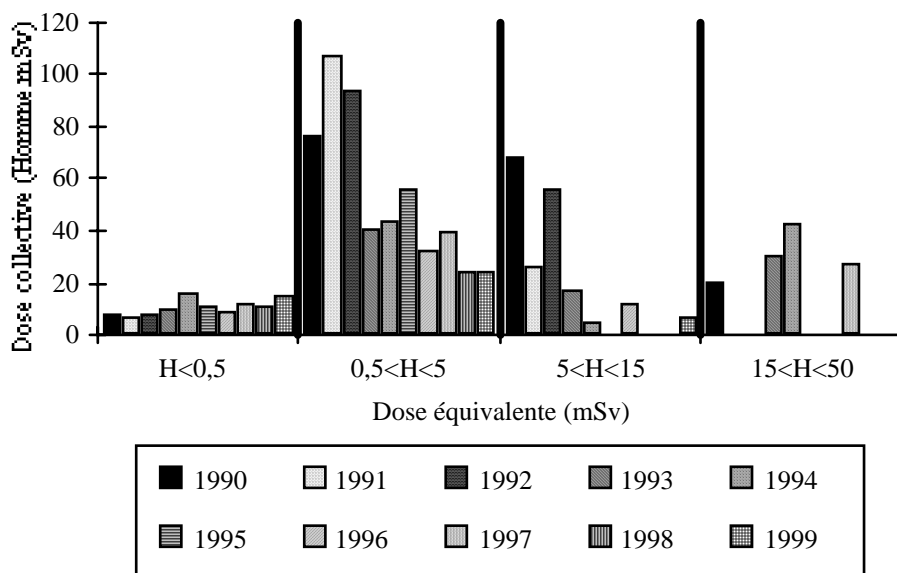


Figure 6: Evolution de la dose collective du personnel professionnellement exposé du service de radiologie des cliniques Saint-Luc à Bruxelles. Les groupes ont été constitués sur basr de la dose équivalente annuelle reçue par ces personnes.

Evolution de la dose collective - Radiologie interventionnelle effectuée dans les services de cardiologie, d'urologie et de gastro- entérologie - Cliniques Saint-Luc à 1200 Bruxelles

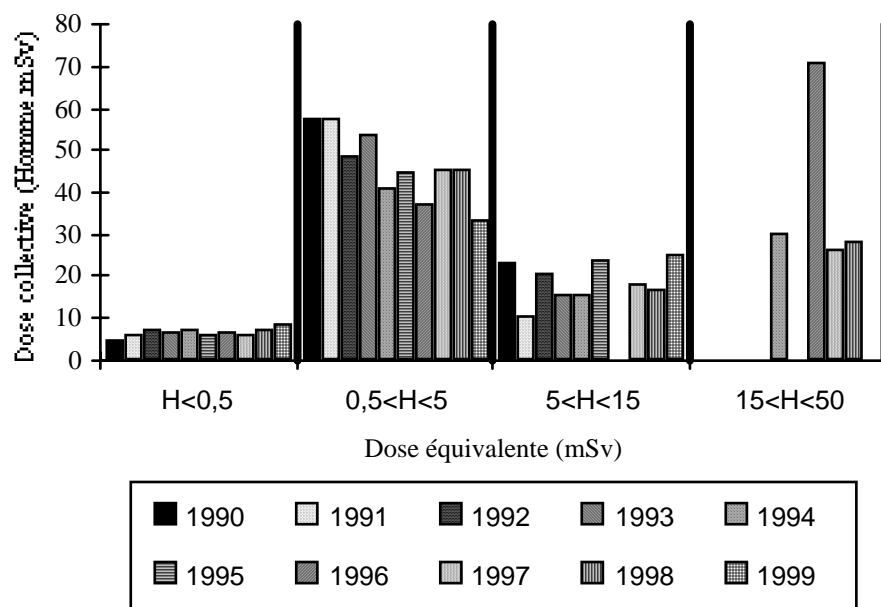


Figure 7: Evolution de la dose collective du personnel professionnellement exposé des services de cardiologie, de gastro-entérologie et d'urologie des Cliniques Saint-Luc à Bruxelles. Les groupes ont été constitués sur base de la dose équivalente annuelle reçue par ces personnes.

Evolution de la dose collective - Cliniques St Luc à 1200  
Bruxelles

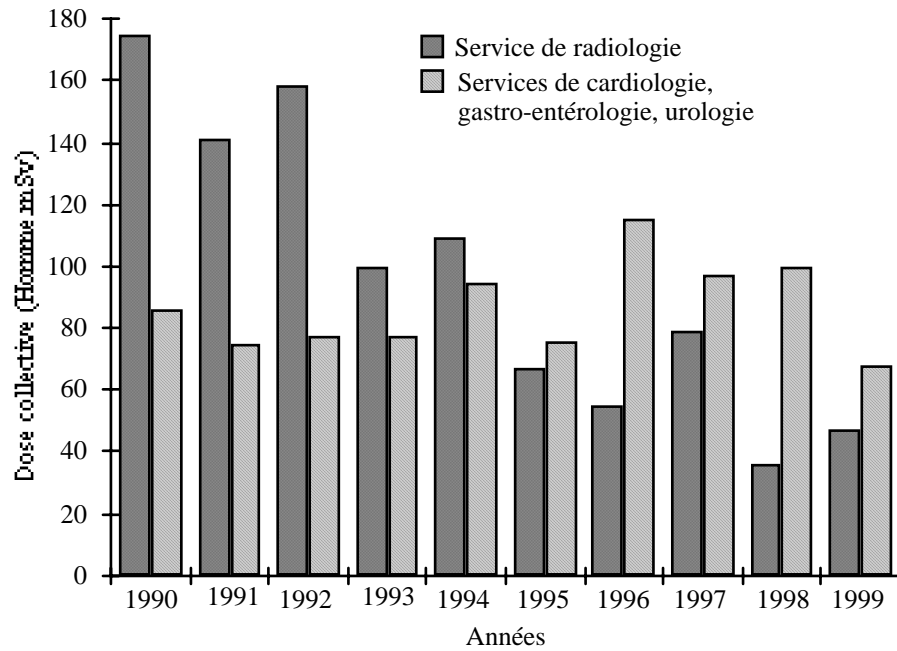


Figure 8: Evolution de la dose collective de l'ensemble du personnel professionnellement exposé des services de radiologie, cardiologie, gastro-entérologie, d'urologie des cliniques Saint-Luc à Bruxelles

Evolution de la dose collective - Service de radiologie (radiologie conventionnelle, scanners, radio. interventionnelle effectuée dans ce service) - Cliniques de Mont-Godinne

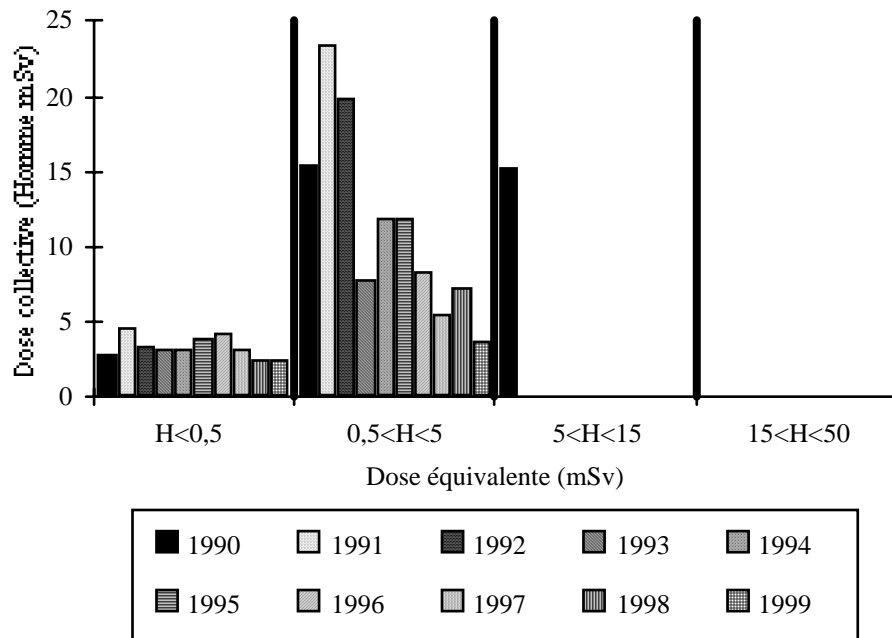


Figure 9: Evolution de la dose collective du personnel professionnellement exposé des services de radiologie des Cliniques de Mont-Godinne. Les groupes ont été constitués sur base de la dose équivalente annuelle reçue par ces personnes.



Evolution de la dose collective - Service de cardiologie - Cliniques de Mont-Godinne

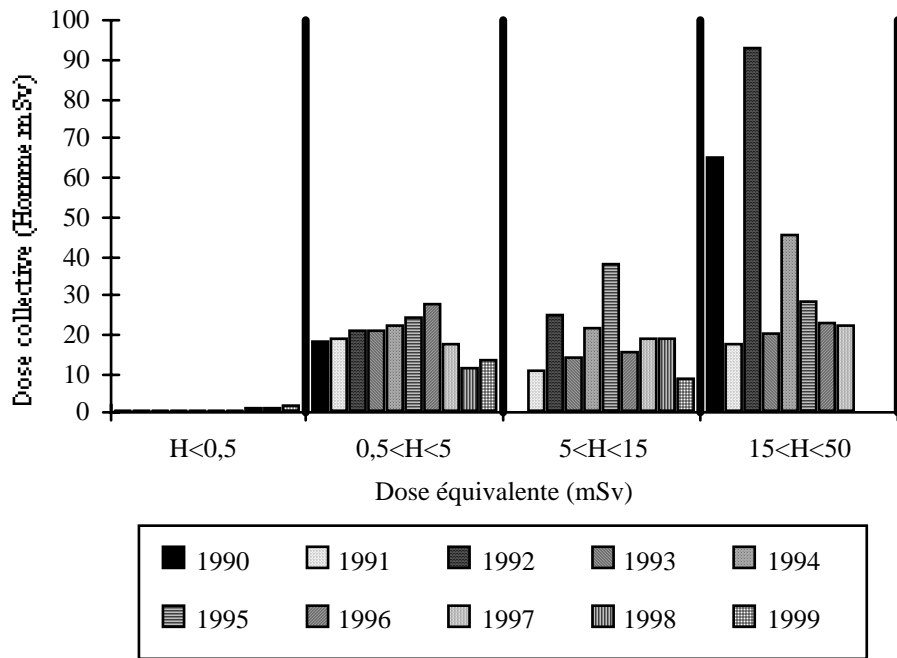


Figure 10: Evolution de la dose collective du personnel professionnellement exposé des services de cardiologie des Cliniques de Mont-Godinne. Les groupes ont été constitués esur base de la dose équivalente annuelle reçuespar ces personnes.

Evolution de la dose collective - Cliniques Mont-Godinne

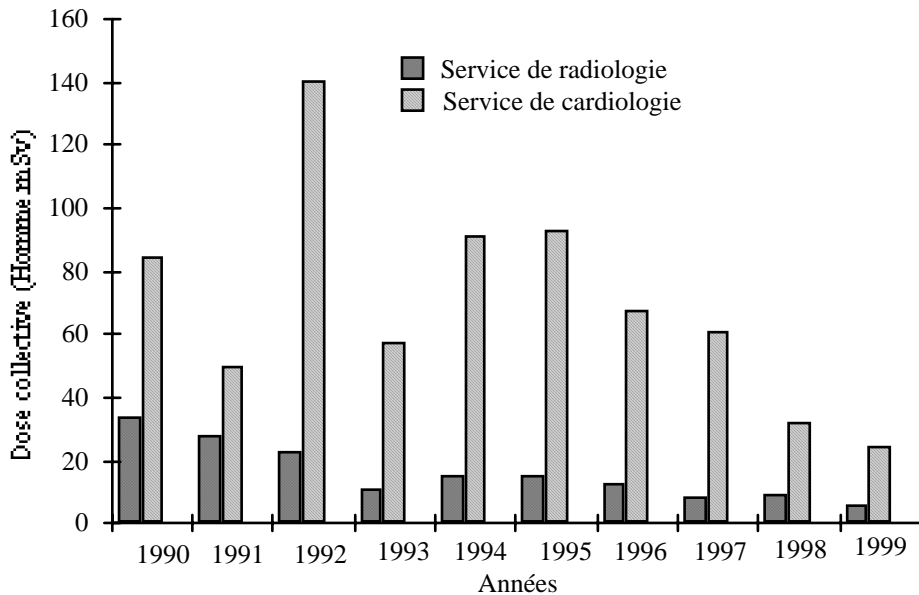


Figure 11: Evolution de la dose collective du personnel professionnellement exposé des services de radiologie et de cardiologie des Cliniques de Mont-Godinne. Les groupes ont été constitués en se basant sur la dose équivalente annuelle reçue par ces personnes.

## **Références**

- Arrêté royal portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes (1963).
- CIPR. Recommendations 1990 de la Commission Internationale de Protection Radiologique.  
CIPR Publication 60. Pergamon Press. NY
- Conseil Supérieur d'Hygiène (section "radiation"). Recommandations relatives aux conditions et aux critères d'hospitalisation et de sortie des patients traités au moyen de radionucléides par voie métabolique. Ministère de la Santé Publique, Communication personnelle, Bruxelles 1996.
- D. Delacroix, J.P. Guerre, P. Leblanc - Radionucléides et radioprotection - Centre d'études de Saclay - 1993
- Daumerie Ch, Vynckier S, Caussin J, Jadoul M, Squifflet JP, de Patoul N, Wambersie A. Radioiodine Treatment of Thyroid Carcinoma in Patients on maintenance dialysis. *Thyroid* 1996; 6:301-304
- Directive 96/29/Euratom du conseil du 13 mai 1996 fixant les normes de base relative à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultants des rayonnements ionisants. *Journal officiel des Communautés européennes* L 159 du 29 juin 1996
- ICRP. Recommendations of International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*. 1977; ICRP Publication 26. Pergamon Press, NY.
- ICRP. Protection Against Ionizing Radiation External Sources Used in Medicine. *Annals of the ICRP*. 1982; ICRP Publication 33. Pergamon Press, NY.
- ICRP. Protection of the Patient in Nuclear Medicine. *Annals of the ICRP*. 1987; ICRP Publication 52. Pergamon Press, NY.
- ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. *Annals of the ICRP*. 1987; ICRP Publication 53. Pergamon Press, NY.
- ICRP. Radiological Protection of the Worker in Medicine and Dentistry. *Annals of the ICRP*. 1989; ICRP Publication 57. Pergamon Press, NY.
- ICRP. Radiological Protection and Safety in Medicine. *Annals of the ICRP*. 1996; ICRP Publication 73. Pergamon Press, NY.
- ICRP. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. *Annals of the ICRP*. 1996; ICRP Publication 74. Pergamon Press, NY.
- Radiation protection design guidelines for 0,1 - 100 MeV particle accelerator facilities NCRP report 51- 1979
- Tschurlovits M, Leitner A, Daverda G. Dose Rate Constants for new dose quantities. *Radiation Protection Dosimetry*. 1992; Vol42 : 77-82

## **Samenvatting**

Het veelvuldig meten van de bestraling en van de mogelijke radioactieve besmetting, vooral bij het in dienst nemen van nieuwe technieken, zowel als de controle van de beschermingsmiddelen maken deel uit van de procedures die in de UCL ziekenhuizen toegepast worden om de stralingsbescherming te optimaliseren. Het navolgen van de gegevens van de individuele dosimeters en een spoedig contact met het personeel wanneer een verhoogde dosis vastgesteld wordt, hebben dikwijls geleid tot een verbetering van de radioprotectie. De ruimtelijke dosismetring met thermoluminescentie dosimeters wordt gebruikt om de blindering en de arbeidsafloop te verbeteren. Bij het ontwerpen van nieuwe installaties en bij het wijzigen van de bestaande, wordt de dosislimite voor de bevolking in het algemeen aangenomen bij het opstellen van de blindering voor de bedieningsconsole hoewel toegang beperkt is tot het bevoegd personeel. Echter dienen de kosten en het welbehagen van de patiënten niet verwaarloosd te worden wanneer bestaande installaties aan nieuwe technieken (b.v., positronencamera) worden aangepast of wanneer nieuwe behandelingen worden ingevoerd.

-

## **Een balans van 7 jaar optimalisatie van stralingsbescherming en nucleair afvalbeheer aan de Vrije Universiteit Brussel (VUB en AZ-VUB).**

Gilbert Eggermont\*, Peter Covens, Saskia Vandenbranden en Michel Sonck\*\*.  
VUB, Dienst Fysische Controle, VUCY, Laarbeeklaan, 103, 1090 BRUSSEL

\* nu SCK•CEN en VUB([geggermo@sckcen.be](mailto:geggermo@sckcen.be))

\*\* nu AVN ([msk@avn.be](mailto:msk@avn.be))

### **SAMENVATTING**

Tengevolge een doorlichting in 1992 van de stralingsbescherming in de eenheid Cyclotron van de Vrije Universiteit Brussel (VUB), waar protectieproblemen waren opgetreden, besloot de VUB om haar Fysische Controle te reorganiseren. Hierbij werd een de facto engagement gegeven tot een systematische ALARA aanpak. Een analyse van sterkten en zwakten van de radioprotectie en de afvalaanpak aan diverse Belgische universiteiten en het gebruik van waardevolle ALARA ervaringen in het SCK• CEN gingen deze nieuwe aanpak vooraf die gekarakteriseerd is door:

- Organisatorische maatregelen op centraal en decentraal vlak i.s.m. de dienst Veiligheid.
- Systematische beoordeling van doses en van activiteiten met correctieve maatregelen.
- Aanwezigheidsbeleid in diensten met prioriteit voor de grote risico's d.m.v. probleemindicatoren.
- Herziening van procedures.
- Organisatie van een opslag- en vervalbeleid voor nucleair biomedisch afval.
- Uitwerking van alternatieve concepten voor patiëntenbeheer en vervalstockage in nucleaire geneeskunde.
- Integratie van stralingscontrole in de QA/QC en preventiereglementering -
- Wetenschappelijke opvolging van nieuwe trends (interventionele radiologie, vasculaire brachytherapie).
- Actieve deelname aan netwerken voor beleidsadvies (Hoge Gezondheidsraad).
- Systematische initiatieven om de opleiding Radioprotectie van de lijnhiërarchie en de "aangestelden voor bewaking" te verbeteren. Bijzondere aandacht voor training in de biomedische wetenschappen.
- Integratie van radioprotectie in de dossieranalyses van de Ethische Commissie van het ziekenhuis.

Er werd voorrang gegeven aan het beperken van hoge doses en besmettingen. Dosislimieten (ooglens) komen enkel nog in het gedrang bij specifieke interventionele technieken zoals digestieve radiologie. Dubbele dosimetrie bij hoge doses en een verlaging van de meetdrempel voor individuele dosimetrie droeg algemeen bij tot een cultuur van bewustwording en dosis avoidance. De individuele en collectieve dosis is vrij snel tot een zeer laag niveau herleid met weinig afname nadien waarbij de beheersing van parallelle chemische en bacteriologische risico's de overhand nam. In de toekomst zullen, naast dosis, ook besmetting en activiteitsindicatoren belangrijk

blijven in optimalisatie. Technologische vernieuwingen zoals digitalisering van radiologische beeldvorming leverden niet de voorgestelde dosisreductie op door de implicaties van hogere vereisten aan resoluties.

In het nucleair afvalbeleid was de optimalisatie het meest succesvol met feedback naar het geheel van de protectie en de klassieke veiligheid.

De decentrale structuur en eilandwerking, met vaag omschreven lijnhiërarchisch interacties met preventieadviseurs, blijft het probleem van universitaire instellingen en ziekenhuizen. De nieuwe preventiereglementering, de vereisten van externe ondernemingen en de Europese machine- en productnormen hebben een positief effect op de invoering van het ALARA principe terwijl ALARA technieken vruchtbare toepassingen vinden in niet-nucleaire gebieden.

De gebrekkige risicoperceptie van medici voor lage dosis effecten hinder de optimalisatie, maar evolueert positief door verplichte opleiding en multidisciplinaire samenwerking met hospitaalfysici.

## **1- SITUERING VAN DE ACTIVITEITEN**

De Vrije Universiteit Brussel (VUB) en het AZ-Jette vormen twee juridische entiteiten: de universiteit zelf gespreid over 4 sites rond Brussel (Etterbeek, Jette, St Genesius-Rode en Anderlecht) en het academisch ziekenhuis gevestigd in Jette.

Er is één preventiedienst geleid door ing. E. Pauwels en twee verkozen comités voor preventie. Er is één Dienst Fysische Controle (DFC) die 4 personen omvat, aangevuld met een nucleair afvalmanager voor beide instellingen, ing. P. Covens. De DFC is nauw geïntegreerd in de eenheid cyclotron (VUCY) waarvan het de technische, logistieke en meetfaciliteiten kan gebruiken. VUCY wordt geleid door prof. dr. Alex Hermanne.

De DFC werd van 1993 tot 98 geleid door prof. dr. G. Eggermont en van 98 tot 2000 door dr. ir. M. Sonck.

In 2000 waren er aan VUB en AZ 864 beroepshalve blootgestelde werknemers, gespreid over 49 gecontroleerde diensten; 25% ervan zijn klasse II.

De nucleair vergunde installaties betreffen een cyclotron van de VUB ingepland in AZ gebouwen, medische infrastructuur voor radiotherapie met 3 lineaire versnellers, een dienst nucleaire geneeskunde, diverse nucleaire biomedische labos (klasse II en III) en tenslotte een belangrijke radiologieafdeling van klasse III, naast een varia aan diensten die in beperkte mate gebruik maken van nucleaire technologie.

De activiteiten zijn gekenmerkt door een snelle technologische evolutie.

De complexiteit en diversiteit van research en hospitaalmilieu vergt grote inspanningen van een DFC om bij te blijven in assessment van technologie en risico's.

Het groot verloop van tijdelijk personeel, stagiairs en studenten, waaronder tal van buitenlanders stelt supplementaire vereisten. Er is vaak tijdelijk werk van derden binnen gecontroleerde zones.

De activiteiten zijn geografisch sterk gespreid met een gedecentraliseerde structuur. De aankoop en registratie van radioactieve bronnen en de opvolging van fluxen van radioactiviteit tot aan de afvoer van afval is minder eenvoudig traceerbaar dan in gecentraliseerde instellingen zoals kerncentrales.

## **2. UITGANGSPUNTEN VOOR REORGANISATIE VAN STRALINGSBESCHERMING EN NUCLEAIR AFVALBELEID IN 1992**

### **2.1. Probleemindicatoren**

Aan het VUB cyclotron dat vooral gebruikt wordt voor radiofarmaceutische research deden zich in 1992 enkele incidenten voor.

Bij targetbehandelingen in de productie van radionucliden voor derde firma's in de sector van de nucleaire geneeskunde kwamen enkele besmettingen voor die leidden tot beperkte opname van radioactiviteit door personeelsleden, weliswaar beneden ALI waarden.

De externe blootstelling bij onderhoud van het cyclotron, met bouwjaar 1986, liep voor een paar personen op tot de limietwaarden. De contrôle van interne besmetting, zoals voorzien in de vergunning, i.h.b. van  $^{65}\text{Zn}$  wees occasioneel op een lichte interne blootstelling, zoals vaker voorkomt bij onderhoud van cyclotrons.

Capaciteitproblemen, tijdsdruk en gebrekkige procedures, die onvoldoende werden nageleefd, bleken aan de basis te liggen. De subsidiering van het NFWO, dat oorspronkelijk de infrastructuur financierde, was in die periode grotendeels weggevallen, wat de universiteit voor continuïteitsproblemen stelde.

Ondertussen liepen de nucleaire afvalkosten van het cyclotron en van de VUB sterk op. Het nucleair afval werd niet opgestapeld maar regelmatig conform de vereisten afgevoerd naar NIRAS, waar zich vanaf 1990 een prijs-escalatie voordeed.

De vergunningen bleken niet steeds meer volledig conform te zijn door de technische evolutie en research-dynamiek. De organisatie van verantwoordelijkheden is in een universitaire omgeving immers niet zo duidelijk afgelijnd als in de industrie.

De gedrevenheid van de vorsers in een innovatieomgeving en de confrontatie met grote risico's in een hospitaal-omgeving kan leiden tot een afwijkende perceptie van stralingsrisico van lage doses. Deze perceptie is niet steeds conform met de inschatting door bevoegde internationale netwerken zoals BEIR-UNSCEAR die aan de grondslag liggen van de nucleaire reglementering (1).

Gezien deze problemen van risicomanagement i.h.b. bij het cyclotron, liet het rectoraat van de VUB een audit uitvoeren.

## **2.2. Audit van de uitbating en veiligheid van het cyclotron**

Uit de audit uitgevoerd door een deskundige klasse II bleek dat het cyclotron feitelijk een ander gebruik had gekregen dan oorspronkelijk was voorzien. De hoofdactiviteit was verschoven van fundamenteel fysisch onderzoek en ontwikkeling van chemisch-nucleaire technologie naar commerciële productie van radionucliden.

Er werd een gebrek aan middelen vastgesteld om een veilige uitbating van het cyclotron te verzekeren onder alle omstandigheden.

De DFC leek onvoldoende bemand om te waken over de veiligheidscultuur van cyclotron, universiteit en ziekenhuis.

Voor de ganse universiteit was er nood aan een economisch haalbaar nucleair afvalbeleid met responsabilisering van de afvalproducenten. Er was geen provisioning gemaakt voor ontmantelingskosten. De eerste ramingen voor de ontmanteling van het cyclotron bleken niet gering. De neutronen aktivatie van de dikke betonafscherming en van het infrastructuurmateriaal was aanzienlijk en zou grote afvalkosten kunnen met zich brengen bij ontmanteling.

Ook de biomedische R&D met tal van nieuwe radionucliden bleek meer nood te hebben aan aandacht voor stralings-bescherming en vorming.

Al deze vaststellingen creëerden ruimte voor een optimalisatie aanpak. Hoewel optimalisatie reglementair vereist is komt het maar zelden voor in de universitaire en medische sector.

De VUB autoriteiten o.l.v. rector R. Dejaegere besloten prioriteit te geven aan een veilige uitbating van het cyclotron en een specifiek nucleair afvalbeleid uit te werken op basis van een researchbenadering. Tevens werd de beslissing genomen om na vergelijking met andere universiteiten, de stralingsbescherming een nieuwe impuls en middelen te geven met aandacht voor het ALARA principe en de optimalisatie.

## **2.3. Internationale situering van de ontwikkeling van ALARA**

ALARA is geleidelijk gegroeid van 1951 tot 1977 in ICRP (2) toen bleek dat elke dosis een risico met zich kon brengen. Op basis van epidemiologie en radiobiologie bleek het carcinogeen risico van straling stochastisch van aard. Een proaktieve toepassing van het voorzorgsprincipe, avant la lettre, liet niet langer toe een drempel-waarde voor gezondheidseffect voorop te stellen. Blootstelling diende zo laag als redelijk haalbaar gehouden, sociale en economische factoren in acht genomen (ALARA).

De operationele uitwerking van dit principe kwam vooral op gang in de USA waar J. Baum in Brookhaven National Lab in de tachtiger jaren een ALARA Centre uitbouwde. Bedoeling was de hoge doses aan te pakken in de Amerikaanse kerncentrales d.m.v. ontwikkeling van een dose avoidance culture en kosten-baten analyse technieken (3).

In Europa kreeg de uitwerking van het principe een impuls door de inspanningen van NRPB en vooral CEPN in Frankrijk, dat in 1990 het SCK te Mol initieerde in een ALARA aanpak (4).

Het door deze organisaties geanimeerde ALARA netwerk maakte van optimalisatie een zichtbare hoeksteen van het drievoudig dosis-beperkings-systeem. Ze gingen vooral het cultuurprobleem identificeren dat met behulp van vormingsinitiatieven en retour d'expérience werd aangepakt. ALARA groeide weg van de eerste louter econo-mische benadering naar een ontwikkeling van diverse tools.

NRPB werkte een kwantitatieve en kwalitatieve ALARA aanpak uit met aandacht voor good professional practice, om doses duidelijk beneden de limieten te houden. Ze gebruikte een collectieve zowel als individuele dosisbenadering met bottom lines voor marginaal geachte doses (0,01 manSv; 0,01 mSv).

In de USA was ALARA ondertussen als reguleringvereiste uitgewerkt. NRC specificeerde: Establish procedures and engineering controls to achieve occupational and public doses As Low As Reasonably Achievable.

Het nucleair energieagentschap van de OESO, NEA werkte vertrekkend van de zeer positieve ervaringen met ALARA in het onderhoud van kerncentrales een handboek uit voor het optimaal organiseren van de arbeid in de nucleaire industrie. ALARA bleek veel meer te zijn dan dosisreductie. Flexibele complexe arbeidsorganisatie in kerncentrales leidde niet enkel tot dosisreducties maar gelijktijdig tot energetische en economische baten. Een rationele evenwichtige invulling van ALARA en voorzorg kan dus tot win-win situaties aanleiding geven.

ALARA is dus essentieel een invulling van het voorzorgsprincipe om in onzekerheid over het effect toch nuttig gebruik te maken van een carcinogeen fysisch agens dat straling is.

Als er een drempelwaarde zou zijn of het gezondheidseffect louter deterministisch is, is optimalisatie uiteraard zonder voorwerp en herleidt radioprotectie zich tot het doen naleven van limietwaarden.

## **2.4. De ontwikkeling in België**

In 1987 had de Belgische wetgever de notie maximaal toelaatbare dosis of concentratie uit het reglement gebannen en vervangen door limieten. Dit gebeurde op last van een Europese richtlijn (5) in uitvoering van ICRP, IAEA, WHO en ILO aanbevelingen (6).

In SCK had de crisiservaring van 1986-90 met Transnuklear tot een evaluatie geleid van veiligheid en stralings-bescherming. Op last van de raad van bestuur werd een gestructureerde ALARA aanpak opgezet met commitment en middelen.

Ook in de kerncentrales van Electrabel kwam een succesvolle ALARA aanpak tot stand om probleemdossiers zoals vervanging van stoomgeneratoren aan te pakken.



Globaal bleef de Belgische reglementering m.b.t. ALARA evenwel zeer vaag waardoor er geen veralgemeende toepassing kwam. De bevoegde autoriteiten onderlijnden wel regelmatig de hiërarchie in het drievoudig dosis-beperkings-systeem waar ALARA na justificatie maar voor limitering komt.

Het Fonds voor Beroepsziekten, de Hoge Gezondheidsraad en de Speciale Commissie, elk in hun adviserende bevoegdheid droegen bij tot preventie formuleringen of promotie van het ALARA proces in een verruimde vorm van risico-assessment.

## **2.5. De ontwikkeling in universitaire context**

De VUB stelde de nieuwe verantwoordelijken voor stralingsbescherming, betrokken in vermelde adviesorganen in staat om een ALARA aanpak ook d.m.v. research uit te werken (Rn, ontmanteling, afval) en deel te nemen aan internationale netwerken (CEPN - ALARA network workshop) en opleidingsinitiatieven (EC - MCA cursus Leeds University, Workshop Harvard School Public Health).

Dit leidde tot een aantal wetenschappelijke publicaties en researchcontracten op internationaal vlak. (7, 8, 9, 10, 11)

Aangezien stralingsbescherming in een universitaire bedrijf geïntegreerd is in een Dienst Veiligheid (nu Preventiedienst) en nauw samenwerkt met de arbeidsgeneesheren en juridische en technische diensten, maakt een meer holistische benadering kans (12). Men werd geconfronteerd met nieuwe brede verplichtingen in het kader van preventie, veiligheid en milieubeleid. De machinerichtlijn van de EC kwam van toepassing ook op nucleaire installaties en CE markering was vereist voor nieuwe toestellen. QA/QC initiatieven bieden een ruimer kader voor kwaliteit en controle van stralingsbescherming. De studie van MER's aan de universiteit draagt eveneens bij tot een nieuwe dynamiek (13). Nucleaire experts gaan vergelijkende risicoanalyses doen en zoeken alternatieven voor afvalproblemen zoals biomedische technieken die geen nucleair afval genereren (14).

In een universitair hospitaalmilieu komen ook regelmatig dossiers m.b.t. medische experimenten met straling op mensen. Deze zijn onderworpen aan procedures voor een ethische commissie van het ziekenhuis. Als gevolg van de aanbevelingen van ICRP 62 kan de nodige dossieranalyse door de DFC georganiseerd worden (15). Dit laat toe de aanpak in de diensten te verbeteren en vergunningen tijdig te actualiseren.

Sinds kort zijn de universiteiten geconfronteerd met een ontluikende reglementering van bio-veiligheid die parallellen vertoonde met reglementering in stralingsbescherming.

De meeste risico's ook in universitaire en medische omstandigheden zijn vaak gemengde blootstellingen aan diverse risico's zoals chemische, UV, NIR, naast ioniserende straling.

De op de derde Europese ALARA workshop geschetste praktijk van globale risk-governance benadering biedt in dit kader nieuwe relativerende perspectieven voor

een evenwichtige benadering van stralingsrisico's in de globale context van preventie, ook economisch.

## **2.6. Optimalisatie: een flexibele keuze die bijdraagt tot meer voorzorg en rechtszekerheid.**

Optimalisatie bestaat uit een doelgerichte set preventie-tools die naargelang de context kunnen gekozen en ingezet worden.

Optimalisatie vertrekt steeds aan de bron, vanuit een probleem en behoefte, het hanteert een systeembenadering die steeds risicoanalyse impliceert, maar zich tevens richt op aspecten van veiligheidscultuur.

Het kan zowel kwalitatief als kwantitatief worden ingevuld en heeft aandacht voor alternatieve opties.

Het vindt een nieuwe associatie in de recente MER benadering van de Europese commissie, die alternatieven en betrokkenheid van relevante actoren op de voorgrond plaatst.

Optimalisatie geeft zoals het historisch is gegroeid prioriteit voor hoge doses en risico's.

Tenslotte laat optimalisatie interpretatie toe ook juridisch. Waar het weliswaar een soft law problem stelt, sluit het ook aan bij de erkenning van de wijsheid van de rechter, die interpretatiemogelijkheid van regels op een redelijke wijze onderstelt.

## **3. CASE ANALYSE VUB CYCLOTRON: ALARA RESULTATEN**

Het concept, de afschermings- en ventilatie-voorzieningen van het cyclotron werden ontwikkeld op een professionele wijze in het midden van de jaren tachtig en golden als referentiestudie (16) met internationale uitstraling. Door de inplanting in een hospitaalcomplex werden zware filterinstallaties geïnstalleerd, gekoppeld aan een hoge schouw om milieulast uit te schakelen. De biologische afscherming werd overgedimensioneerd en de protectieorganisatie gebaseerd op meervoudigheid, gecontroleerd door metingen en geautomatiseerde signalisatie.

De indeling van de gecontroleerde zones voorzorg meetfaciliteiten, besmettingsvoorzieningen en de nodige persoonlijke beschermingsmiddelen.

Na 6 jaar was evenwel de oorspronkelijke doelstelling van dit cyclotron gewijzigd. Het geplande PET project met integratie in het ziekenhuis ging niet door. De radiochemische research richtte zich op de aanmaak van radio-farmaca en op de ontwikkeling van radiochemische technologie bij productie en scheiding van cyclotron geproduceerde radionucliden.

Dit bracht meer werkings- en afval-kosten met zich terwijl, de vermindering van externe middelen voor het fundamenteel kernfysisch onderzoek, de exploitant noopte tot toenemende commerciële radionucliden productie om inkomsten te voorzien om voor de uitbating te kunnen instaan.

Door deze nieuwe situatie deden zich ook problemen voor met onduidelijke afbakening van verantwoorde-lijkheden zowel hiërarchisch als tussen de twee betrokken instellingen, i.h.b. naar onderhoud van de infrastructuur. Door de zwakke coördinatie met diverse steundiensten kreeg preventief onderhoud weinig prioriteit.

Het belang van systematische rapportering van schierincidenten werd onvoldoende ingeschat, wat enig gebrek aan communicatie illustreerde.

De operationele problemen van stralingsbescherming werden ad-hoc deskundig aangepakt en waar nodig geëvalueerd via eindwerken. De procedures liepen evenwel ten achter op de gewijzigde uitbatings-vereisten.

Als gevolg van de audit werden de vergunningen geactualiseerd evenwel zonder veel extern gevolg door de grote inertie van de regionaal bevoegde administraties. Intern werd prioriteit voor veiligheid en radioprotectie gestructureerd in de stuurgroep van het cyclotron.

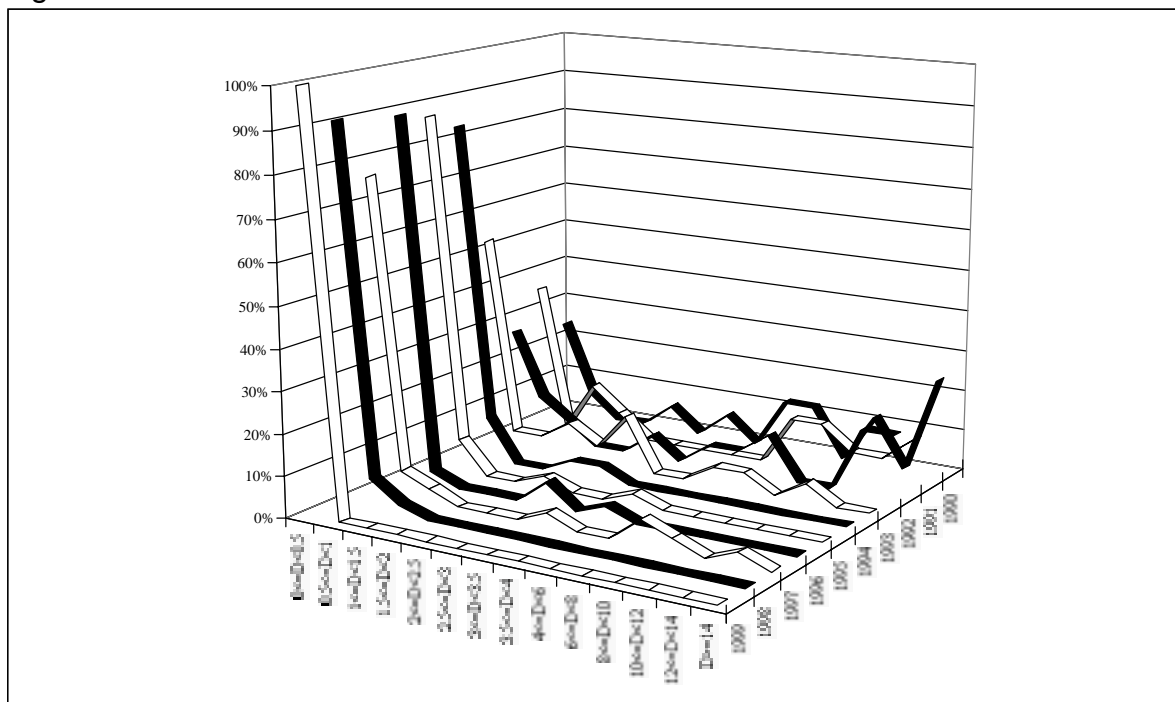
ALARA doelstellingen werden vooropgesteld en opgevolgd; procedures werden aangepast.

Diverse indicatoren werden geregistreerd en gerapporteerd. Systematisch onafhankelijk toezicht werd uitgebouwd. De gecontroleerde zones werden heringedeeld en de toegang beperkt.

Voor dit alles kreeg het cyclotron en de versterkte DFC een commitment van het rectoraat met forse verhoging van middelen i.h.b. voor een preventief onderhoudsprogramma.

De gevolgen lieten niet op zich wachten.

De hoge persoondosis werden drastisch gereduceerd zoals blijkt uit **figuur 1**. Incidenten werden marginaal en systematisch geëvalueerd met het erkend organisme.



Figuur 1 : Evolutie van het procentueel aantal gecontroleerde werknemers met een effectieve jaardosis  $D(mSv)$  t.o.v. het totaal aantal gecontroleerde werknemers in het VUB Cyclotron

De opname van radionucliden door personeel werd door preventie en systematische whole-body monitoring beperkt. Er kwam enkel nog een lichte  $^{65}\text{Zn}$  verhoging voor in 1997 met een individuele opname van maximaal 15 kBq na onderhoud. De achtergrond situeerde zich beneden 15 Bq terwijl de ALI waarde voor  $^{65}\text{Zn}$  107Bq bedraagt.

Als gevolg van een systematische optimalisatie oefening werd het probleem van de ontmantelings-afval van het cyclotron geïdentificeerd. In de betonafscherming werd diepte activatie door n vastgesteld i.h.b. van  $^{152}\text{Eu}$  met 13y halveringstijd. Dit kan leiden tot  $100\text{m}^3$  afval, inclusief betonijzer (8).

Optimalisatie van cyclotronconcepten in de toekomst zal het gebruik van metaalafval in beton uitschakelen en vooral het gebruik van wegneembare afschermingsmodules versterken.

De identificatie van de gemakkelijk verspreidbare en opneembare  $^{65}\text{Zn}$  besmetting in target en machine halls vereisen enige voorzorg bij shut-down en interventies.

De vastgestelde metaalactivatie van de infrastructuur, i.h.b.  $^{60}\text{Co}$  zal door materiaalselectie kunnen worden voorkomen in de toekomst en door passende vervalstockage opgevangen.

Uit een grondige studie van het probleem in Europees verband voor diverse acceleratoren is gebleken dat na sluiting een cyclotron tientallen jaren verval zal vereisen om vrijgave te kunnen toepassen voor de ganse installatie. Er konden evenwel tal van preventiemogelijkheden worden geïdentificeerd en de blootstelling bij interventies kon beperkt worden i.s.m. SCK door gebruik en validatie van de VISIPLAN ALARA-tool (17).

Dit leidde tot een belangrijke studieopdracht van de EC-DGXI om de ontmanteling van acceleratoren internationaal ook economisch te bestuderen (18).

#### **4. FEEDBACK VAN VEILIGHEIDS- EN PROTECTIE- AANPAK AAN ANDERE UNIVERSITEITEN**

Uit werkbezoeken aan de collega radioprotectiediensten van universiteiten werden nuttige lessen getrokken om de radioprotectie aan VUB te optimaliseren.

- Aan de KUL was een nieuwe aanpak gegroeid van het nucleair afvalprobleem met vervalstockage, nucleaire meting van verpakkingen in een afgeschermd meetopstelling met plasticscintillatoren en integrale kostenopvolging.

De centrale receptie van radionucliden met verdeling via de DFC kan net als in UCL als optimalisatie van organisatorische aanpak aanzien worden. Het laat toe de fluxen van radioradionucliden in een universiteit en hospitaal optimaal te traceren zoals reglementair vereist.

De procedures voor goedkeuring van nieuwe experimenten en uitrustingen aan KUL golden als inspiratiebron. De uitwerking van kwaliteitsindicatoren van radioprotectie praktijk laten toe prioriteiten te stellen in de aandacht van een DFC.

- Uit de RUG werd een degelijk systeem van geïnformatiseerde administratieve organisatie weerhouden, naast criteria voor keuze van meetapparatuur. Er ontstond een gezamenlijke aanpak van operationele calibratiebronnen voor besmettingsmonitoren.
- De originele aanpak van verwerking en beheer van radioactief afval aan UCL liet op basis van ruime operationele ervaring toe belangrijke bijstellingen te doen aan het concept voor het afvalbeheers in de VUB tijdens de ontwikkelingsfase.  
  
De aanpak van <sup>131</sup>I therapieprotectie in AZ-St Luc was van grote waarde bij een project optimalisatie voor een behandelingskamer in AZ Jette.
- De aanpak van vloeibare scintillatie afval in UIA met centrale verwerking van flesjes en verregaande decentralisatie van kosten van zowel afval als fysieke controle werd weerhouden als geoptimaliseerde vorm van organisatie respectievelijk responsabilisering.
- Van de ULg werd de gedetailleerde risico- en protectieinformatie van niet ingekapselde radionucliden weerhouden, die bijzonder van nut was voor de optimalisering in biomedische labo's. Praktische innovatie in de selectie van meetapparatuur en een geactualiseerde benadering van persoonsdosimetrie boden samenwerkingsmogelijkheden.
- Aan AZ St Jan in Brugge werd een optimale organisatie van vloeibaar afval bestudeerd.

Algemeen kan de vergelijkende studie van de radioprotectieaanpak in andere universiteiten en ziekenhuizen een nuttige bijdrage leveren om QA in stralingsbescherming en de veiligheidsaanpak te optimaliseren.

Er werd een grote diversiteit vastgesteld tussen de universiteiten. De ALARA aanpak blijft occasioneel en vooral kwalitatief. QA, zoals in het bedrijfsleven toegepast, bleek algemeen nog in een beginfase in het academische milieu.

De medische radioprotectie stelt zich nagenoeg overal als een delicate uitdaging en vormt een complex probleem voor radioprotectiediensten.

De ontbrekende reglementering van bioveiligheid en de verstrenging van chemische milieureglementering, die zeer varieert naargelang de regio's, maakt de stralingsbescherming aanpak moeilijker maar tevens interessanter naar de toekomst toe.

## **5. REORGANISATIE VAN DE FYSISCHE CONTROLE EN HET NUCLEAIR AFVALBELEID AAN DE VUB.**

Uit audit, vergelijkende studie en de ervaring met prioritaire ingrepen in het cyclotron kwam in 1994 een grondige reorganisatie tot stand van de Fysische Controle van de VUB.

## 5.1. ALARA aanpak

Er werden supplementaire middelen verstrekt om de uitvoering van de reglementaire opdrachten te optimaliseren (mensen, investeringsbudget, werkingsbudget, research, vorming en info).

Er werd een commitment gegeven op hiërarchisch vlak vanuit rectoraat en directie wat toeliet in te grijpen in de diensten waar nodig. Er werd een net van contactpersonen (aangestelden voor bewaking) georganiseerd.

De toestand van gecontroleerde zones, toestellen en personen kon aldus worden geïnventariseerd.

De informatie over risico's en protectie middelen werd geactualiseerd met redactie van meertalige brochures voor de anderstaligen. Vorming op maat gaande van aangestelden voor bewaking tot studenten werd aangeboden.

De organisatie van stralingsbescherming werd ingepast in de klassieke veiligheidsaanpak met regelmatige coördinatie en nauwe samenwerking met de arbeidsgeneeskunde.

Aangezien risico's dienen beperkt aan de bron met oog voor alternatieve opties en technieken, vereist dit een systeembenadering die zelden beperkt blijft tot nucleaire aspecten, o.m. in de integratie van sociale interacties (info, vorming, organisatie, toezicht). Algemeen gaat collectieve bescherming voor op individuele. Tevens zijn Europese vereisten zoals CE markering in het kader van de Wet op het welzijn van het werk nu ook voor nucleaire installaties van toepassing. Dit vereist een goede samenwerking van alle preventieadviseurs waaronder de nucleaire.

De ALARA aanpak bestaat derhalve uit algemene optimalisering van middelen en organisatie, aangevuld met een serie algemene en specifieke acties. De uitbouw van een geïnformatiseerd dienstenbestand van bronnen en apparaten en de terugkoppeling naar vergunningen en kostenverrekening verhoogt de doorzichtigheid.

Een dynamisch bestand van doses en besmettingen van blootgestelde werknemers laat toe indicatoren van gemiddelde en collectieve dosis per dienst te ontwikkelen en onderzoeksniveaus als constraints op te stellen.

De verbeterde registratie van radionucliden, van de aankoop tot de afvalverwijdering, leidde tot een benaderde schatting van het afval dat via de ambulante patiënt in het milieu verspreid wordt.

Een systematisch register van incidenten en het verplicht maken van logboeken per dienst voor interventies liet toe de opvolging te verbeteren.

Ook hier bleek de achterstand van de verwerking van de centrale blootstellingregistratie door de bevoegde overheid een hinderpaal om praktijken vergelijkend te beoordelen.

Een verhoogde aanwezigheidspolitiek leidde tot beter indicatie van problemen en verbeterde ongeval voorziening.

De actualisatie van experimentele procedures met integratie van stralingsbeschermings criteria verhoogde de capaciteit van equipes van vorsers om aan QA vereisten in externe contracten te kunnen voldoen, wat meer en meer vereist wordt.

Het nucleair afvalbeheer en de samenwerking met de ethische commissie m.b.t. experimenten op mensen werd algemeen geoptimaliseerd (15).

Meer specifieke acties betroffen de biomedische labo's (dosimetrie, preventie m.b.t. vluchtige radionucliden), de radiotherapie (kwaliteitsborging, reductie secundaire blootstelling door geactiveerde accelerator-onderdelen, DU afscherming), nucleaire geneeskunde (besmettingspreventie) en radiologie (dubbele dosimetrie, interventionele radiologie, keuze van apparatuur en protectiemiddelen).

De nieuwe middelen voor de DFC bleken een noodzakelijke voorwaarde voor succes. Een voldoende capaciteit aan mensen, ook op universitair vlak bleek gezien de groeiende complexiteit absoluut vereist

- full time bereikbaarheid
- specifieke opleiding (o.m. ADR transport)
- multidisciplinaire en probleemgerichte benadering die een risico-assessment capaciteit creëert
- contactpersonen in de diensten (die inzicht optimaliseerden en flexibele ingrepen toelieten).

Deze personen genieten evenwel ondanks hun gespecificeerde reglementaire opdracht geen statutaire bescherming van hun verantwoordelijkheden, noch enige remuneratie.

De uitbreiding van beschikbare apparatuur leidde tot verhoogde vraag uit de diensten met flexibele beschikbaarstelling.

Specifieke dosimetrische middelen (elektronisch en dubbele dosimetrie) en meer radionuclidenpecifiek aangepaste gevoelige besmettingsmonitoren verhoogden alertheid en dose avoidance culture.

In de persoonsdosimetrie, verzorgd door SCK, leidde de verlaging van de detectielimiet eveneens tot verhoogde motivering voor dosisreductie bij de gebruikers.

De implementatie van het commitment van de lijnhiërarchie top-down verliep vrij goed maar niet overal van-zelfsprekend.

Er ontstaat vooral ongegronde vrees voor vertraging van het onderzoek door verhoogde prioriteit voor QA en stralingsbescherming. Een vroegtijdige associatie van de DFC en preventiedienst in het proces van R&D planning kan evenwel juist vertraging vermijden en globale kwaliteit verbeteren.

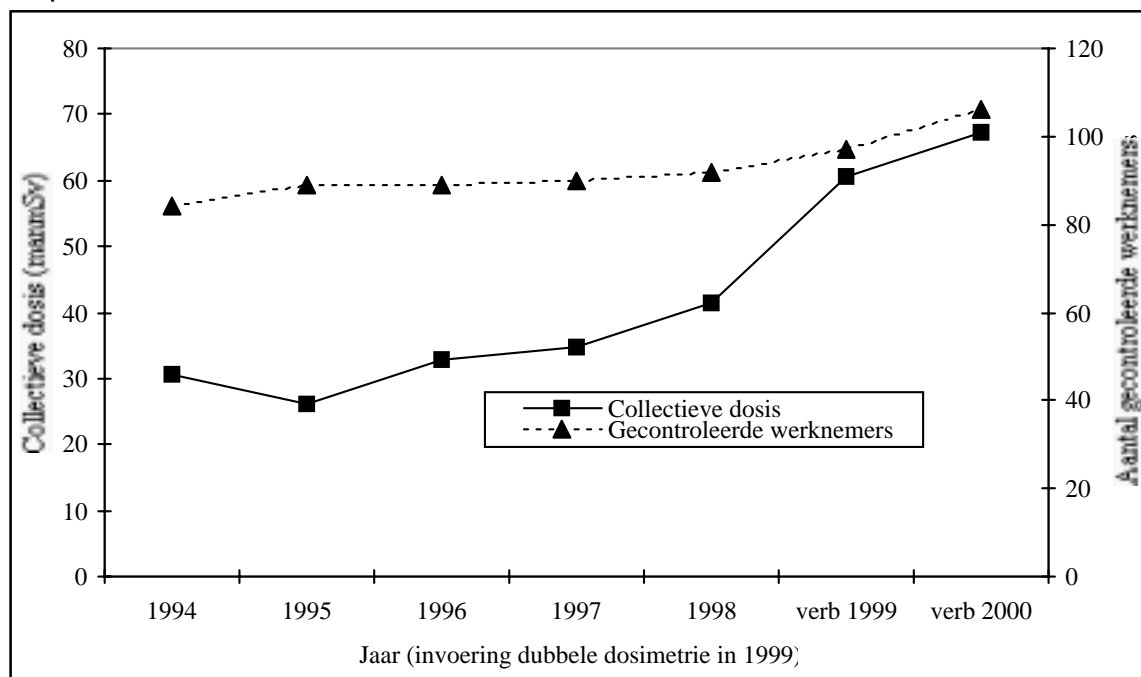
De perceptie of het gebrek aan perceptie van het stralingsrisico vooral in sommige medische diensten vormt een hinderpaal voor de toepassing van het ALARA principe en de ontwikkeling van optimalisatie.

De rol van preventiecomités werd eerder als beperkt of occasioneel ervaren.

Het veilig werken met derde firma's in gecontroleerde zones volgens de reglementaire vereisten staat nog niet op punt door vooral de achterstand van de administratie in registratie en toezicht.

Een optimale benutting van de mogelijkheden van de arbeidsgeneeskunde in coördinatie met de fysieke controle kan tot goede resultaten leiden.

Globaal zou betere coördinatie van risico-assessment met de lijnhierarchie, een verplichte vorming en bijscholing voor alle bij straling betrokken medisch personeel en vooral een sterkere en snellere overheid tot verdere verbetering van de radioprotectie kunnen leiden.



Figuur 2 : Evolutie van collectieve dosis en het aantal beroepshalve blootgestelde werknemers in de dienst Radiologie van AZ-VUB

## 5.2. ALARA resultaten

De grote investeringen voor afvalmetingen brachten een positieve feedback voor de globale QA i.h.b. op gebied van stralingsbescherming. De verhoogde traceerbaarheid van radionucliden werd snel door gebruikers ervaren.

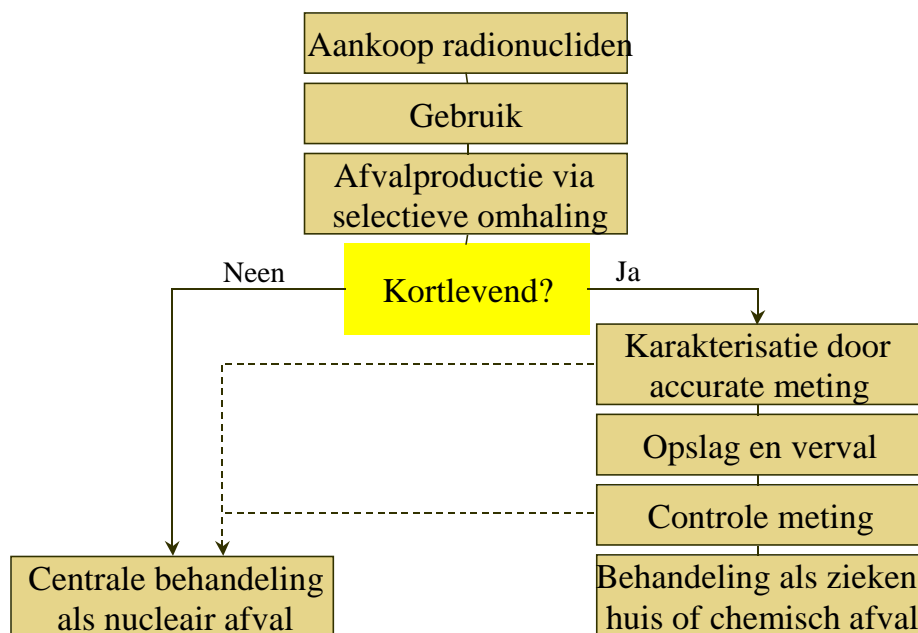
Het systematisch opvolgen van de technologische evolutie en van de radioprotectie via opleiding, congressen en researchinspanningen loonde niet alleen door verbetering van dosisresultaten en kostenbeheersing maar eveneens door het genereren van researchcontracten, ook internationaal (18).

In figuur 1 is de evolutie van de distributie van het procentueel aantal dosisresultaten in het VUB cyclotron weergegeven van 1990 tot 1999. Ze tonen de sterke terugloop van hogere doses na de aanvang van optimalisatie-inspanningen die alleen nog door machineonderhoud licht verstoord werd. De doses in de radiologie namen evenwel toe vanaf 1998 door het meer realistisch inschatten van de reële dosis als gevolg van



dubbele dosimetrie boven en onder de loodschort in interventionele radiologie. Dit blijkt uit de collectieve dosis in de radiologie van het AZ in **figuur 2**.

De voornaamste optimalisatieresultaten staan evenwel in verband met het nucleair afval.



Figuur 3: Concept van het nucleair afvalbeleid in VUB en AZ

### 5.3. Optimalisatie van nucleair afvalbeleid

Het nucleair afval van universiteiten en hospitalen bestaat voor 80% uit relatief kortlevend afval met een halveringstijd van minder dan 100 dagen.

Het aan de VUB ontwikkeld concept is gebaseerd op selectieve inzameling, meting voor verval, vervalstockage en eventuele vrijgave na controlemeting (figuur 3). Door middel van selectieve inzameling van dit afval in recipiënten die aangepast zijn aan zowel nucleaire, chemische als biologische risico's kunnen risico's zowel als afvalkosten beperkt worden (19).

Er werd een passende etikettering uitgewerkt die verantwoordelijkheden op de respectieve niveaus situeert en vastlegt met het oog op informatie en eventuele traceerbaarheid van onregelmatigheden.

Er werd gekozen voor QC en karakterisatie van het afval als verificatie van de selectieve verzameling en voor optimalisatie van de tijd nodig voor vervalstockage. Daartoe werd i.s.m. Canberra Europe een gevoelige meet-opstelling ontwikkeld. Na vergelijkende studie van diverse meettechnieken in een lage achtergrond opstelling werd geopteerd voor een Ge detector. Deze opstelling wordt na vervalstockage een tweede maal gebruikt voor vrijgave van het nucleair afval dat dan hoofdzakelijk een bestemming krijgt als specifiek ziekenhuisafval voor incineratie.

De gehanteerde vrijgavecriteria refereren naar minimaal detecteerbare activiteit.

De restkost van dit kortlevend afval is marginaal vergeleken met de nucleaire afvalkosten bij NIRAS, terwijl de transferdoses de chemische en biologische

blootstellingrisico's en de milieulast worden beperkt. De klassieke risicoaanpak is hierdoor duidelijk veiliger dan bij NIRAS waar voor het biomedisch afval zelfs geen hermetisch gesloten containers worden vereist.

Na 4 jaar ervaring doet zich reeds een financiële evenwichtssituatie voor, zoals blijkt uit **tabel 1**, op 32% van de oorspronkelijke kost. Naast de zeer korte pay-back periode van de meetinvestering was de feedback naar algemene QA en verbetering van veiligheid en protectie cultuur een cruciale vooruitgang. Het vervalstockage concept beperkt zich dus geenszins tot dosisminimalisering.

	Totale kost (kEUR)			
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4
Investering en onderzoek	156	64	35	4
Exploitatie	50	50	37	37
Behandeling kortlevend afval na verval	1	1	2	3
Behandeling langlevend afval	62	39	33	21
<b>Totaal</b>	<b>269</b>	<b>154</b>	<b>107</b>	<b>65</b>
Behandeling zonder vervalstockage	187	181	180	204
Kostenbesparing	(82)	27	73	139

Tabel 1: Kostenbesparing nucleair afvalbeleid VUB-AZ

De MDA waarden zijn afhankelijk van diverse parameters maar systematisch gevoelig lager dan de vrijstelling niveaus die in de EC BSS van 1996 zijn vooropgesteld (20).

Voor  $^{125}\text{I}$  (35keV \*) bedraagt de MDA 10-2 kBq/kg tegen een vrijstellingsniveau van 103 kBq/kg.

Een andere belangrijk resultaat van de ontwikkelde meettechniek is de capaciteit om remstraling van lage energetische  $\gamma$ 's zoals  $^{35}\text{S}$  (160 keV/ $\gamma$ ) te detecteren in lichte afvalvaten. Hier bedraagt de MDA 30 kBq/kg tegen 103 kBq/kg met handmonitoren voor een betwistbaar vrijstellingsniveau van 105 kBq/kg gezien de mogelijk vluchtigheid van dit element in diverse verbindingen.

De hoge gevoeligheid van de meetopstelling had ook een positieve feedback op de stralingsbescherming attitudes in de labo's.

Het meetsysteem laat toe te besluitvorming over extra vervalperiodes te optimaliseren aan marginale kosten.

Het geheel leidt tot betere aanvaarding van de nucleaire afvalproblematiek. De nucleaire oorsprong van de vervallen radionucliden is expliciet vermeld op de vrijgegeven containers, wat geen enkele aanleiding gaf tot controverse.

De aanpak leidde ook tot vermindering van besmettingsproblemen bij incineratoren, die de laatste jaren regelmatig voorkomen als gevolg van onvoldoend gecontroleerde vrijgave praktijken.

Alle vrijgegeven containers aan VUB worden nog individueel gecontroleerd met handmonitoren door het erkend organisme zonder enige positieve meting tot nu toe.

## 6. KRITISCHE TERUGBLIK - ALARA CONSTRAINTS

Uit de ervaringen van 7 jaar radioprotectie en ALARA aanpak van de VUB blijkt dat de negatie van het risico van lage doses bij sommige medici een groot probleem vormt om personeel tot ALARA te motiveren. Ondanks de bijscholing verloopt de mentaliteitswijziging van medici eerder traag.

De decentrale universitaire structuur met weinig efficiënte horizontale coördinatie is een tweede hinderpaal. De risicoanalyse in en door de diensten zelf zou kunnen verbeterd worden.

In universitaire instellingen kan zich een probleem stellen van continuïteit van middelen voor veilige exploitatie bij wijziging van prioriteiten in research.

De doses die individueel en collectief door personeel worden opgelopen kunnen reëel onderschat worden i.h.b. in de interventionele radiologie waar dubbele dosimetrie in specifieke cases absoluut noodzakelijk is. Het regelmatig niet dragen van dosimeters stelt problemen die ook technische optimalisaties vereisen zoals in een steriele omgeving in chirurgie.

De laag energetische X en  $\beta$ -dosimetrie (vooral biomedisch) en een aangepaste ndosimetrie (bij acceleratoren) vereist nog ontwikkelingen.

Algemeen dient de structurele zwakheid van de regulerende overheid vastgesteld wat leidt tot vertragingen die niet aanvaard worden in een research of medische omgeving. De overheid doet onvoldoende het ALARA principe implementeren in de praktijk en doet ondanks verhoogde administratieve aandacht onvoldoende effectieve controle van werk door derden.

Tenslotte kan worden aanbevolen om de stralingsbescherming praktijk van diensten Fysische Controle maar ook van erkende organismen regelmatig aan een audit te onderwerpen om ze te optimaliseren.

### Referenties

- (1) UNSCEAR 2000, Report to the General Assembly, Sources and Effects of ionising Radiation, UN Publication E.00.X.4, New-York, 2000
- (2) ICRP, Recommendation 26, Annals of ICRP 1, 3, Pergamon Press, 1976
- (3) J. Baum, Developments in ALARA Technology, Advanced Workshop on Occupational and Environmental Radiation Protection, Harvard School Public Health, Boston, Ma, 1994
- (4) J.R.Croft, (NRPB, UK) and C. Lefaire (CEPN, Fr), Overview of Occupational Exposure Optimisation Challenges in Industrial and Research Uses, Proc. 2° Europ. ALARA Network Workshop, Good Radiation Protection Practices in Industry and Research, Didcot (UK), 1998.
- (5) CEG, Richtlijn 80/836 van 15/07/80 tot vastlegging van de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid van de bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren. Publ. Blad Europ. Gemeenschappen, L246, 23, 17/09/80
- (6) IAEA, WHO, ILO, NEA, Basic Safety Standards for Radiation Protection IAEA Safety Series n° 9 STI/PUB/607 Vienna, 1982
- (7) G. Eggermont and A. Poffijn, The optimisation of communication and of decision making in Rn policies, Proc. IAEA Conf. Radiation and Society, IAEA-CN-54/P03, Paris, 1994
- (8) G. Eggermont, N. Buls and A. Hermanne, Decommissioning analysis of a university cyclotron, Annalen BVS, 21, 4, 1996.
- (9) M. Sonck, N. Buls, O. Serruys, G. Eggermont and A. Hermanne, Neutron Activation of the Biological Shielding of Particle Accelerators: Destructive Analysis and 3D-Modélisation, Proc. Int.

- Conf. on Decommissioning and Decontamination and on Nuclear and Hazardous Waste Management - Spectrum Conf. 1998, J. Graham editor, ANS 700257, Vol 1, 195-200, Denver.
- (10) N. Buls, A. Hermanne, G. Eggermont, M. Sonck and O. Serruys, Prospective Analysis of Activation and Decommissioning of a University Cyclotron, Proc. Int. Conf. on Dismanteling of Nuclear Facilities, Avignon, SFEN, vol.2, 435-447, 1999
- (11) G. Eggermont, P. Covens and A. Hermanne, Decay management of Nuclear Waste in University and Hospital, Proc. of DOE Low Level Waste Conf., Salt Lake City, 1997.
- (12) G. Eggermont en E. Kusters, Trends in de radioprotectiefilosofie en risicoaanpak, model voor andere bedrijfsrisico's, Proc. Seminarie Arbeidsgeneeskunde, VAG, 1998
- (13) P. Geerinck, De Belgische federale nucleaire milieueffect rapportage procedure - een analyse en evaluatie, Thesis MER opleiding VUB-MEKO, Brussel, 1998.
- (14) E. Party and E. L. Gershey, A review of some available radioactive and non-radioactive substitutes for use in biomedical research, Health Phys. 69(1), 1-5, 1995.
- (15) ICRP Recommendation 62, Radiological Protection in Biomedical Research, Pergamon Press, 1992.
- (16) P. Van den Winkel, G. De Backer, A. Hermanne, E. De Doncker, VUB cyclotron: afscherming, ventilatie en veiligheidskringen en toepassingen, Annalen BVS, 11, 1996, 117-240
- (17) G. Eggermont, N. Buls, A. Hermanne, W. Van Suetendael and F. Vermeersch, Optimisation opportunities in the decommissioning of accelerators, 1° European ALARA Network Workshop, Paris, 1997.
- (18) P. Vankerckhoven, A. Hermanne, G. Eggermont, M. Sonck, N. Buls, H. Mol, M. Schrauben, I. Verstraeten, F. Meirer, J.M. Salomé, L. Peeters, W. Vansuetendael, J.C. Zerbib, L. Bourgois, D. Delacroix, H. Ait, E. Malambu, C. Bellefontaine, F. Vermeersch, D. Vandeplassche D. and D. Meert, Evaluatoin of the radiological and economic consequences of decommissioning particle accelerators, EUR 19151 EN, ISBN 92-828-7222-X, 1999.
- (19) G. Eggermont, P. Covens, M. Sonck, S. Takács and A. Hermanne, Optimization of Nuclear Hospital Waste Management, Advances in Medical Physics, (ed. Rehani), 181-203 New Delhi, 2000.
- (20) H. Mol, A. Wambersie and G. Eggermont, Dosimetry of workers in radiology, Journal Belge de Radiologie, 1999, 82, 104-106
- (21) Richtlijn 96/29 Euratom van de Raad van 13/5/96 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en de werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren, Publicatieblad Eur. Gem. L159,39, 29/06/96.

## Résumé

Un audit fait, en 1992, en matière de radioprotection, à l'unité du cyclotron de l'université libre de Bruxelles (Vrije universiteit Brussel, VUB) où certains problèmes de radioprotection étaient apparus, celle-ci décida de procéder à une réorganisation du contrôle physique. A cette occasion, l'engagement fut pris d'appliquer systématiquement le principe ALARA. Une analyse des points forts et faibles de la radioprotection et de la gestion des déchets dans les universités belges et l'expérience précieuse acquise au SCK• CEN ont précédé une approche nouvelle caractérisée par:

- Mesures organisationnelles au niveau centralisé et décentralisé en collaboration avec le service sécurité
- Evaluation systématique des doses et des activités et mesures correctives
- Politique de présence dans les services, avec priorité aux risques majeurs au moyen d'indicateurs de problèmes
- Modification des procédures
- Mise en place d'une gestion du stockage pour décroissance radioactive des déchets biomédicaux nucléaires
- Elaboration de concepts alternatifs pour la gestion des patients et du stockage pour décroissance dans les services de médecine nucléaire

- Intégration du contrôle des radiations à l'assurance qualité et, à la réglementation de prévention.
- Suivi scientifique des nouvelles technologies (radiologie interventionnelle, brachythérapie vasculaire)
- Participation active aux réseaux d'avis et d'analyse de problèmes (Conseil Supérieur d'Hygiène)
- Prise systématique d'initiatives en matière de formation de la hiérarchie et des préposés à la surveillance en radioprotection avec un accent particulier pour la formation en biomédecine.
- Prise en compte de la radioprotection lors de l'analyse des dossiers par la commission d'éthique de l'hôpital

La priorité a été donnée à la limitation des doses élevées et des contaminations. Le respect des limites de dose ne pose plus problème que dans le cas de la dose au cristallin lors de la mise en oeuvre de techniques d'intervention spécifiques comme la radiologie digestive. La double dosimétrie pour les doses élevées et l'abaissement du niveau de détection en dosimétrie individuelle a conduit à une meilleure prise de conscience et donc à une conduite d'évitement de doses. Les doses individuelles et la dose collective ont pu être rapidement réduites à des niveaux très bas où elles se sont maintenues avec une légère tendance à la diminution, de sorte que c'est la maîtrise des risques chimiques et bactériologiques qui est devenue prépondérante. A l'avenir, en plus de la dose, les indicateurs d'activité et de contamination resteront importants pour l'optimalisation. Des innovations technologiques comme la digitalisation en imagerie radiologique n'ont pas conduit à la réduction de dose escomptée à cause des exigences accrues des hautes résolutions.

Pour la gestion des déchets, les efforts d'optimalisation déployés ont surtout été bénéfiques au travers du retour d'information à l'ensemble des services de protection et de sécurité classique.

Le problème des institutions et hôpitaux universitaires réside dans la décentralisation et le travail en îlots juxtaposés sans une définition claire au niveau du tronc hiérarchique des interactions avec les conseillers en prévention. La nouvelle réglementation en matière de prévention, les exigences des entreprises contractantes et les normes européennes pour les équipements et les produits auront une influence positive sur la mise en place du principe ALARA. Tandis que les techniques ALARA trouvent applications dans le domaine non nucléaire.

Le faible niveau de perception du risque des médecins et des effets des faibles doses pose partout obstacle à l'optimalisation. Toutefois, on peut noter une évolution positive due à l'obligation pour les médecins de participer à la formation et à la collaboration multidisciplinaire des physiciens d'hôpitaux.

## **ALARA en ASARA: Synergie of synoniem?**

Walter Blommaert  
Belgoproces

### **SAMENVATTING**

ALARA wordt nagenoeg uitsluitend geassocieerd met de optimalisatie van de blootstelling van het individu en/of de omgeving aan straling. Het is echter beter te spreken van ASARA (As Safe As Reasonably Achievable), rekening houdende met economische, sociale/ethische, psychologische, veiligheids- en omgevingsaspecten. ASARA dekt dus eveneens de niet-nucleaire aspecten. In deze optiek is ALARA dus slechts een onderdeel van ASARA. Beide zijn uiting van een bezorgdheid inzake veiligheid en mogen dus niet als onafhankelijk beschouwd worden.

Het ASARA programma omvat o.a. een reeks van risico-evaluatiemethodes (HAZOP, ALARA, ...), ontwerp-specificaties, werkprocedures, technieken, evenals meet-, toezicht- en evaluatieprogramma's. Bescherming van o.a. individu en omgeving impliceert dat beschermende acties gedefinieerd worden. Voor beschermingsdoeleinden heeft men behoefte aan kwantitatieve criteria, eerder dan aan algemene voorwaarden. Zowel op louter conventioneel vlak (bv. asbest) als voor het specifiek nucleaire, zijn hiervoor tools of richtwaarden voorhanden. In deze optiek lopen ASARA en ALARA volledig parallel, zij het dat het domein van ASARA veel omvangrijker is.

Alhoewel bij Belgoproces de ALARA methodiek slechts recentelijk geformaliseerd werd, zal in de uiteenzetting aangetoond worden dat de globale ASARA (ALARA) benadering die doorheen de jaren gehanteerd werd, tot een drastische daling van zowel de persoonlijke als de milieu-impact aanleiding gegeven heeft, en soms zelfs tot een niveau waar de discussie betreffende "het Redelijke" ophoudt. De dalende trends inzake lozingen (vloeistoffen, atmosferisch), en inzake dosimetrie, zijn niet uitsluitend toe te schrijven aan een doorgedreven sanering, doch wijzen in sterke mate op een permanent beleid van preventie, gekoppeld aan een optimalisatie van zowel stralings-, conventionele- en milieubelasting. Hiertoe behoren o.a. een meer gestructureerde werkplanning, aangepaste en/of nieuw ontwikkelde technieken en beschermingsmiddelen, toepassing van risico-evaluatietechnieken, en specifieke opleidingen van operatoren.

Een overzicht wordt gegeven van de ASARA/ALARA benadering doorheen de jaren. Een vergelijking wordt gemaakt tussen de kwantificeringsmethodiek van ALARA en ASARA.

## Résumé

ALARA est pratiquement uniquement associé à l'optimisation de l'exposition de l'individu ou/et de l'environnement aux radiations. Il est cependant préférable de parler de ASARA (As Safe As Reasonably Achievable), pour tenir compte des aspects économiques, socio-éthiques, psychologiques, de sécurité et environnementaux. ASARA couvre donc aussi les aspects non nucléaires. Sous cet angle, ALARA n'est qu'un sous-ensemble de ASARA. Tous deux trahissent un souci de sécurité et ne doivent pas être considérés séparément

Le programme ASARA comprend entre autres choses, une série de méthodes d'évaluation du risque (HAZOP, ALARA, ...), des cahiers de charge, des procédures de travail, des techniques, ainsi que des programmes de surveillance, de mesure et d'évaluation. Pour atteindre les objectifs de protection il faut disposer de critères quantitatifs plutôt que généraux. Des moyens et des valeurs limites sont disponibles aussi bien pour le domaine strictement conventionnel (p.e., l'amiante), que pour le domaine nucléaire. Sous cet angle ASARA et ALARA sont parallèles, même si ASARA couvre un domaine plus vaste.

Bien que la formalisation de la méthodologie ALARA à Belgoprocess soit récente, il sera démontré que la mise en oeuvre depuis des années, du principe ASARA (ALARA) à conduit à une réduction draconienne de l'impact sur les individus et le milieu, au point où on s'est posé la question de savoir où ce qui est "raisonnable" cesse. La tendance à la diminution des rejets liquides et atmosphériques et des doses ne doivent pas être attribuée uniquement à l'assainissement réalisé. Elle met aussi en lumière les efforts permanents de prévention liés à l'optimisation de la charge conventionnelle et nucléaire imparties aux individus et au milieu. Font partie de cette politique, les plans de travail mieux structurés, l'adaptation ou le changement des techniques et moyens de protection, l'adoption de techniques d'évaluation des risques, la formation ciblée des agents. L'utilisation de l'approche ASARA-ALARA est illustrée et les méthodes de quantification respectives sont comparées.

## **Dosisbeheer in de MOX-fabriek van BELGONUCLEAIRE**

P. Kockerols, F. De Smet, A. Vandergheynst  
Departement Veiligheid en Milieu  
Planning en Ontwikkeling  
BELGONUCLEAIRE

### **SAMENVATTING**

In haar installaties te Dessel vervaardigt BELGONUCLEAIRE MOX-splijtstof voor lichtwaterreactoren. Sinds 1989 heeft de productie een nominale capaciteit behaald van gemiddeld 35 ton per jaar, met een bezetting van ongeveer 260 medewerkers. De fabricagelijijn omvat het vermengen van poeders, het maken van pastilles en het vullen van de staven. Het geheel van deze productieoperaties gebeurt in handschoenkasten.

De externe dosissen zijn het gevolg van het continu dagelijks werk in stralingsvelden van een relatief lage intensiteit. Het plutoniumoxide genereert zowel fotonen (gamma en X-stralen) als neutronen.

Uit een ALARA oogpunt werden over het voorbije decennium belangrijke inspanningen geleverd om de blootstelling in de gecontroleerde zone te verlagen. De maatregelen waren georiënteerd op de mechanisatie van de productielijn, de systematische afscherming van werkposten en stockages, en de sensibilisatie van het personeel.

Hierdoor kon de collectieve gammadosis gevoelig gereduceerd worden, van ongeveer 1100 mSv in 1990 tot minder dan 500 mSv in 1999. Dit ondanks de toenemende complexiteit van de fabricagecampagnes.

De collectieve neutronendosis kende daarentegen een verschillend verloop, en bedraagt vandaag ongeveer 600 mSv. Dit is het gevolg van drie factoren : het toenemend plutoniumgehalte van het MOX-product, de relatief moeilijkere afscherming tegen neutronenstraling en de invoering van een pessimistischere neutronendosimetrie.

Verdere inspanningen zijn gericht op een continue verbetering, en worden gefocuseerd op de verlaging van de neutronendosissen. Het stralingsrisico moet echter in verhouding gesteld worden met de andere veiligheidsrisico's in de installatie. Het is daarom nuttig het dosisbeleid te integreren in het dynamisch risico-beheersingssysteem van de fabriek.

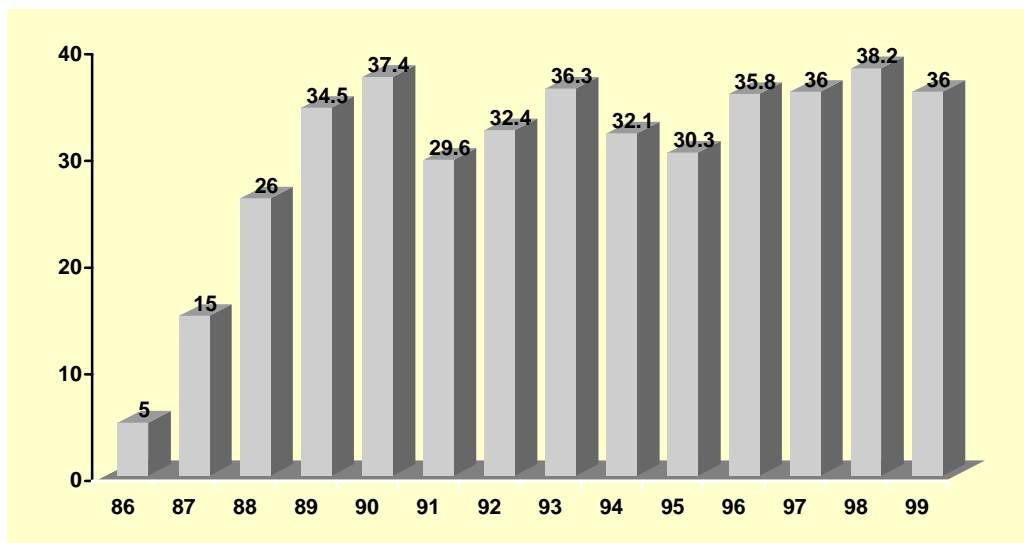


## 1. INLEIDING: DE MOX-FABRIEK VAN BELGONUCLEAIRE

BELGONUCLEAIRE is uitbater van de splijtstoffabriek voor gemengd plutonium- en uraniumoxide (MOX) in Dessel. De installatie werd gebouwd in het begin van de jaren zeventig voor de productie van splijtstof voor kweekreactoren en lichtwaterreactoren. De fabricage gebeurde initieel in het kader van demonstratieprogramma's. Vanaf 1986, toen het MIMAS fabricage proces (Micronisation and Master blend) volledig tot ontwikkeling was gekomen, werd gestart met de commerciële productie.

MOX wordt gefabriceerd door het mengen van poeders plutoniumoxide en uraniumoxide. Ten gevolge van de radiotoxiciteit van het plutonium is de hele productielijn, vanaf het mengen van de poeders tot het maken van pastilles en het vullen van staven, geïnstalleerd in handschoenkasten. Door de noodzakelijke manipulaties in het fabricageproces wordt het personeel echter blootgesteld aan de stralingen van het MOX-product.

De evolutie van de productie van MOX tussen 1986 en 1999 wordt hieronder voorgesteld. **Figuur 1** toont sinds 1989 een productie rond gemiddeld 35 ton zwaar metaal per jaar.



*Figuur 1: jaarlijkse productie van de MOX-fabriek (ton zwaar metaal)*

De cijfers maskeren echter twee tendenzen die een beduidende impact hebben op de evolutie van de dosissen:

- Tot begin jaren negentig werd geproduceerd in relatief lange fabricagecampagnes, voor een beperkt aantal klanten. Sinds 1994 zijn de campagnes veel korter, met veelvuldigere klanten. Dit noodzaakt een reeks extra interventies, zoals aanpassingen aan de uitrustingen en bijkomend kwaliteitsonderzoek.
- Hoewel de productie van MOX nagenoeg constant bleef, is de jaarlijkse hoeveelheid verwerkt plutonium in tien jaar bijna verdubbeld. Dit is het gevolg van het geleidelijk toenemend plutonium-gehalte in de MOX.

Over de jaren zijn maatregelen genomen om, ondanks deze penaliserende evolutie, de dosisbelasting te verlagen. Vooraleer we deze toelichten, bespreken we hieronder de toch relatief specifieke eigenschappen van de externe blootstelling bij MOX-fabricage.

## **2. KARAKTERISATIE VAN DE EXTERNE BLOOTSTELLING**

In tegenstelling tot andere nucleaire installaties zoals kerncentrales bvb. zijn de dosisdebieten in de MOX-fabriek relatief laag. De dosisdebieten situeren zich op de meeste werkposten tussen 5 en 50  $\mu$  Sv/u. Echter, door het continu dagdagelijks werk aan deze werkposten, is de externe blootstelling op jaarbasis wèl significant.

De externe dosissen zijn niet enkel afkomstig van de X- en gammastralingen (fotonenstralingen), maar ook en in belangrijke mate van de neutronenstralingen. Beiden stralingen hebben verschillende eigenschappen, en komen derhalve niet in dezelfde mate voor op de verschillende werkposten.

De X- en gammastralingen afkomstig van de plutoniumisotopen en van hun dochterisotopen zijn laag-energetisch, grotendeels beneden 20 keV. Enkel het  $^{241}\text{Am}$  geeft een beduidende energiepiek rond 60 keV. Door deze lage energie worden de stralingen grotendeels geabsorbeerd door het product zelf (auto-absorptie door het 'zware' uranium en plutonium). Er kan dus gesteld worden dat het dosisdebiet proportioneel is met het oppervlak van de bron. De hoogste dosidebieten komen bijgevolg voor waar het MOX-product oppervlakkig verspreid is. Dit is in hoofdzaak het geval bij stofferige handschoenkasten waarin poeders behandeld worden, of bij filterinstallaties.

De neutronenstralingen worden gegenereerd door spontane fissies en ( $\alpha$ ,n)-reacties met de zuurstofkernen van het oxide. Hun energie situeert zich gemiddeld rond 2 MeV. In tegenstelling tot de fotonenstraling is er dus nagenoeg geen auto-absorptie in het product. Het dosisdebiet is quasi evenredig met de massa van de bron. De hoogste dosisdebieten vinden we bij stockages of plaatsen waar de MOX in relatief hoge massa verwerkt wordt.

## **3. DOSISBEPERKENDE MAATREGELEN**

BELGONUCLEAIRE heeft over de jaren belangrijke middelen ingezet om de externe dosissen te reduceren. Deze inspanningen werden nog opgevoerd in het kader van twee belangrijke investeringsprogramma's over de periode 1995-1998, die tot doel hadden de fabriek te moderniseren.

De maatregelen berusten op drie pijlers:

- de automatisering van de installaties ;
- de afscherming van de werkposten ;
- de verbeteringen aan de werkorganisatie en sensibilistatie van het personeel.

### **3.1. Automatisering**

De automatisering heeft tot doel het aantal manuele ingrepen in de handschoenkasten te beperken, door een sturing op afstand te verzekeren. Verscheidene type installaties werden vervangen of aangepast met het oog op automatisering. Het betreft :

- doseerinstallaties van poeders en pastilles ;
- stockages van potten met poeders, schuiten met pastilles en staven ;
- transportsystemen ;
- de visuele inspectie van pastilles.

De meeste van deze installaties werden gebouwd in de productielijn, dit wil zeggen in handschoenkasten. Ze bestaan uit gemechaniseerde systemen of robots. De sturing op afstand gebeurt, waar mogelijk, buiten de lokalen, zodat de dosisbelasting minimaal gehouden wordt. Het toezicht wordt verzekerd door een reeks camera's en videoschermen.

Bij de automatisering van de visuele inspectie van pastilles bijvoorbeeld wordt er van elke pastille een reeks digitale foto's genomen. De operator selecteert de pastilles op een videoscherm buiten het lokaal. De verschillende uitrustingen voor de aanvoer en afvoer van de pastilles worden bewaakt door extra videobeelden.

Het spreekt vanzelf dat de verregaande automatisering zich niet beperkt tot de loutere aanpassing van uitrustingen. De overschakeling van manuele ingrepen naar automatisering vraagt ook aandacht voor talrijke nevenaspecten zoals de opleiding van de operatoren, de organisatie van de productie, de planning van het onderhoud, ...

### **3.2. Afschermingen**

Er bestaat een duidelijk onderscheid tussen de gamma-afschermingen en de neutronen-afschermingen die op BELGONUCLEAIRE aangewend worden.

#### **3.2.1 Gamma-afschermingen**

Door de lage energie van de fotonenstralingen van MOX volstaat reeds 0,5 mm lood of loodequivalent om een reductiefactor van ongeveer 10 te bekomen. Het aanbrengen van gamma-afschermingen is daarom relatief eenvoudig.

Het meest gebruikte materiaal is het zogenaamde kiowaglas : het betreft transparante polymethylacrylaatplaten, met lood geladen (12 mm plaatdikte komt overeen met 0,5 mm loodequivalent). Er wordt nagestreefd alle handschoenkastpanelen te bedekken met minstens één laag kiowaplaat. Stofferige handschoenkasten worden met extra diktes beschermd.

Voor de afschermingen van doorgangen, buizen, plaatsen waar geen doorzichtbaarheid vereist is wordt er beroep gedaan op loodrubber of metaalplaten, al of niet bedekt met lood.

Voor interventies waarbij collectieve afschermingen niet of moeilijk toe te passen zijn wordt de loodschoort gebruikt. In dit kader werd er sinds 1996, voor een correcte dosisbepaling, een dubbele dosimetrie ingevoerd (één dosimeter boven, één onder de loodschoort).

### **3.2.2 Neutronen-afschermingen**

In vergelijking met de gamma-afschermingen zijn de neutronen-afschermingen veel moeilijker aan te brengen. De reductie van het dosisdebiet wordt voornamelijk bekomen door de neutronen te vertragen. Lichte, voornamelijk waterstofrijke materialen zijn het meest geschikt.

Er wordt in hoofdzaak gebruik gemaakt van platen hoge dichtheidspolyethyleen, ingekapseld in staal of inox. Om een voldoende afschermingseffect te bekomen zullen dikke lagen moeten aangewend worden : 70 mm polyethyleen geeft bijvoorbeeld slechts een reductiefactor 4. Dit vraagt zware constructies, meestal rond de handschoenkasten, soms in de handschoenkasten. Neutronenafschermingen zijn voornamelijk rond de stockages geplaatst, of waar het materiaal in relatief belangrijke massa aanwezig is.

Voor een beperkt aantal toepassingen wordt er ook gebruik gemaakt van beton. Beton is echter nog een factor 2 minder efficiënt in vergelijking met polyethyleen.

### **3.3. Werkorganisatie en sensibilisering personeel**

De maatregelen naar verbetering van de werkorganisatie hebben voornamelijk tot doel de hoeveelheid materiaal in de directe omgeving van de werkposten te beperken. Opslag van materiaal op niet afgeschermd plaatsen betekent immers een hogere neutronenstraling (~ massa). Deze maatregelen vragen een betere planning, teneinde een vlottere doorstroming van het product te verwezenlijken.

Verscheiden acties werden ondernomen teneinde het personeel te sensibiliseren naar stralingsdosisbeperking. Enerzijds werden alle operatoren uitgerust met een alarmdosimeter. Een dosimetrieprogramma werd uitgewerkt om de opgelopen dosissen dagelijks op te volgen. Te hoge dosissen worden onderzocht naar hun oorzaak, en indien mogelijk worden correctieve maatregelen voorgeschreven. Anderzijds werd de aandacht naar stralingsdosisbeperking verscherpt door een reeks opleidingssessies, affiches en aanduidingen van risicoplakaten.

### **3.4. Aandeel van de dosisbeperking in de investeringen**

In de periode 1995-1998 werd een bijzonder investeringspakket doorgevoerd teneinde de fabriek te moderniseren. In de onderstaande tabel wordt het aandeel van de maatregelen naar dosisbeperking op het totaal investeringsbudget voorgesteld.

De tabel toont dat veruit het grootste aandeel van de investeringen naar automatisatie gaat. Er valt evenwel op te merken dat automatisatie niet enkel naar dosisbeperking gericht is, maar ook het verloop van de productie bevordert. De investeringen in afschermingen zijn, relatief gezien, bescheidener, maar in absolute cijfers betekenen ze toch een beduidend budget. Werkorganisatie en sensibilisering

vragen quasi geen investeringen. De dosisbesparingen die ze opleveren veronderstellen wel blijvende inspanningen.

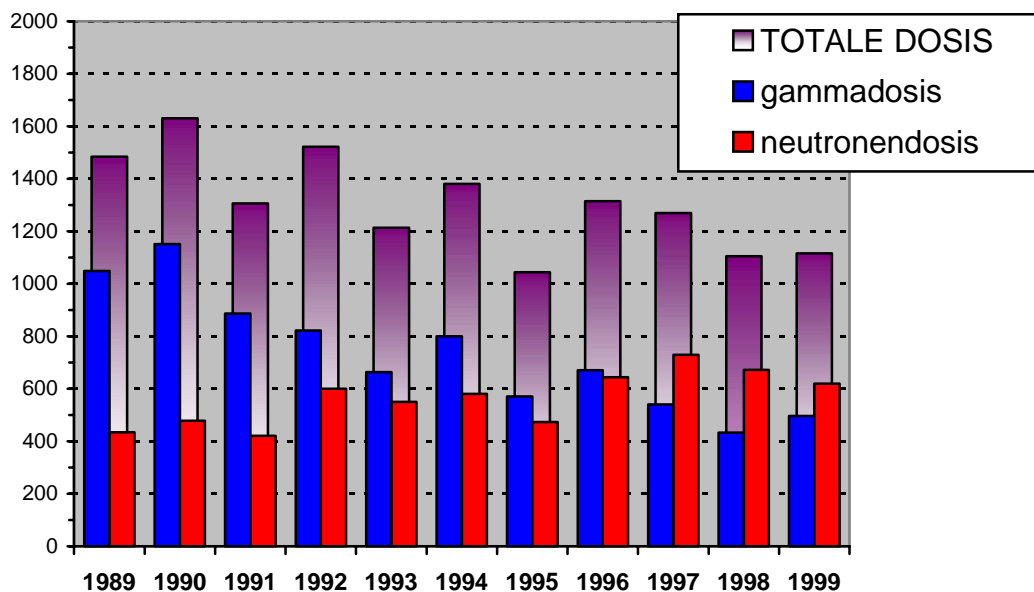
	Aandeel t.o.v. totaal Investeringsbudget 95-98
1 Automatisatie	45 %
2 Afschermingen	5 %
3 Werkorganisatie & Sensibilisering	< 1 %

Tabel 1: Aandeel dosisbeperkende maatregelen op totaal investeringsbudget 1995-1998

#### 4. Evolutie van de dosissen

**Figuur 2** geeft de evolutie van de collectieve dosis voor de hele fabriek tussen 1989 en 1999. De totale dosis wordt weergegeven, evenals de collectieve gammadosis en de neutronendosis.

De totale dosis is geleidelijk gedaald van ongeveer 1500 mSv in 1989 tot 1100 mSv in 1999. De splitsing in gamma- en neutronendosis toont echter de verschillende trends : de gammadosis is over ongeveer 10 jaar meer dan gehalveerd, van 1100 mSv in 1989 tot 500 mSv in 1999. De neutronendosis is daarentegen licht gestegen, en bedraagt heden meer dan 600 mSv, of ongeveer 60 % van de totale dosis.



Figuur 2: evolutie van de collectieve dosis (in mSv) tussen 1989 en 1999

De tegenstrijdige evolutie van gamma- en neutronendosis vindt zijn oorzaak in een aantal factoren. Er is hierboven reeds aangehaald dat de hoeveelheid plutonium die jaarlijks verwerkt wordt sterk is toegenomen. Deze hoeveelheid heeft voornamelijk een invloed op de neutronendosisen. Een tweede verklaring ligt in de complexiteit

en de beperktere efficiëntie van de neutronenafschermingen in vergelijking met de gamma-afschermingen.

Tenslotte heeft ook de evolutie van de neutronendosimetrie een belangrijke impact gehad. Door het toenemend belang van de neutronendosissen bleek het meer en meer essentieel beroep te kunnen doen op een betrouwbare neutronendosimeter. Na een kwalificatieprogramma van 3 jaar werd de bellendosimeter BD-PND van BTI op 1.1.1997 in gebruik genomen. Tegelijkertijd werden vanaf deze datum de door de ICRP voorgeschreven meer pessimistische neutronenkwaliteitsfactoren toegepast.

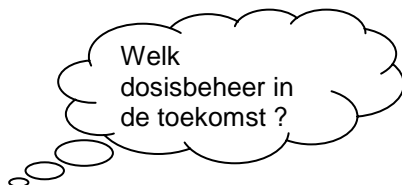
## 5. Verdere acties naar dosisbeperking

Het is duidelijk dat de verdere acties naar dosisbeperking steeds meer toegespitst zullen worden op de neutronenstraling. De neutronendosissen vertegenwoordigen het grootste aandeel van de dosissen, en er is bovendien een blijvende tendens naar een toenemend plutoniumgehalte in het MOX-product.

Op gebied van werkorganisatie kan veel dosis bespaard worden door te blijven streven naar een nog vloeiendere productiedoorstroming. Indien zich hinder of storingen voordoen, veroorzaakt dit een accumulatie van het materiaal in de productielijn. Stocks geven neutronenstraling. Bijkomend komen een goede planning en coördinatie niet alleen de stralingsbescherming ten goede, maar ook de productie en de kwaliteit.

Een deelaspect van dit aandachtspunt rond de productiedoorstroming is het leren omgaan met de nieuwe uitrustingen. Er is de laatste jaren uitzonderlijk veel geïnvesteerd in automatisatie. Daar waar vroeger manuele ingrepen nodig waren in de handschoenkasten, moeten nu de operatoren leren sturen op afstand, dikwijls met geïnformatiseerde bedieningen. Deze cultuurverandering vraagt inspanningen. Opleidingen moeten de operatoren meer vertrouwd maken met de mogelijkheden die ter beschikking staan. Planning van het onderhoud en het wegwerken van kinderziekten moeten storingen en haperingen tot een minimum herleiden.

Naast deze organisatorische maatregelen zullen uiteraard nog investeringen nodig zijn om de dosissen verder te verlagen. De neutronenafschermingen zullen verder moeten uitgebreid worden naar alle productieposten waar een beduidende dosis wordt opgelopen.



## Besluit

Over de laatste jaren zijn er in de MOX-fabriek van BELGONUCLEAIRE beduidende inspanningen geleverd om de dosissen te verlagen. Door de 'verwerking' van de voorbije investeringen en de verdere uitbouw van de neutronenafschermingen kunnen deze inspanningen verdergezet worden.

De vraag kan echter gesteld worden naar de doelstelling en de nadruk die er op moet gelegd worden. Het antwoord zou zijn : 'As Low As Reasonably Achievable'. Maar wat is Reasonably ? Zijn er grenzen aan het redelijkerwijze ? En wat met andere risico's ? Zij verdienen uiteraard ook aandacht. Dit zijn zwakke punten van een zuiver ALARA-beleid : de subjectiviteit van het streefdoel, en de exclusiviteit ten opzichte van andere veiligheids- en gezondheidsrisico's.

De BELGONUCLEAIRE MOX-fabriek is sinds mei 2000 ISO 14001 gecertificeerd. Dit milieubeheerssysteem berust op het streven naar continue verbeteringen : plannen op basis van welgedefinieerde criteria, uitvoeren, verifiëren en rechtzetten. Zulk een beheerssysteem wordt ook voorgeschreven door de Welzijnswet van 1996. Het lijkt ons dan ook logisch het dosisbeheer hierin te integreren : het dosisbeleid wordt in verhouding gebracht tot andere veiligheids- en gezondheidsrisico's; de nodige acties worden op basis van objectieve criteria gepland.

## Résumé

BELGONUCLEAIRE produit dans son usine de Dessel le MOX pour les réacteurs à eau légère. Depuis 1989, la production nominale de 35 tonnes par an est atteinte avec un personnel de 260 unités. La ligne de production comprend le mélange des poudres, la fabrication des pastilles et le remplissage des gaines. L'ensemble de la production se fait en boîtes à gants.

Les doses externes sont dues au travail quotidien dans des champs d'exposition de faible intensité. L'oxyde de plutonium émet des photons (gamma et X) et des neutrons. De gros efforts d'application ALARA ont été faits au cours de la décennie passée en vue de réduire l'exposition en zone contrôlée.

Les mesures prises ont visé la mécanisation de la ligne de production, le blindage es postes de travail et des lieux de stockage et la sensibilisation du personnel. La dose gamma collective a ainsi pu être réduite de quelque 1100 mSv, en 1990, à moins de 500 mSv en 1999, malgré une complexité croissante des campagnes de fabrication.

La dose collective pour les neutrons a suivi un autre cours et est, aujourd'hui, de 600 mSv. Ceci est dû à trois facteurs: l'augmentation de la teneur en plutonium du MOX, la difficulté de se protéger des neutrons et une dosimétrie neutrons plus pessimiste.

Des efforts ultérieurs visent à une amélioration continue, focalisée sur la diminution des doses neutrons. Cependant, le risque radiologique doit être mis en regard des autres risques présentés par l'installation. Il est donc utile d'intégrer la gestion des doses à une méthode de maîtrise dynamique des risques de l'installation.

**Tien jaren optimalisatie op het SCK•CEN:  
Lessen en perspectieven  
Dix années d'optimisation au SCK•CEN:  
Leçons et perspectives**

Pascal Deboodt  
SCK• CEN

**ABSTRACT**

By the end of the eighties, the management of the Belgian Nuclear Research Centre and the persons in charge of the Health Physics Department decided to launch a new project aimed to put into practice the second principle of Radiological Protection, namely, the optimisation (also ALARA) principle. This paper has the intention to provide a short review of ten years of practice. From the initial training phase up to the organisation of the 4<sup>th</sup> European ALARA Network Workshop in November 2000, the most relevant results as well as the most pertinent lessons will be indicated. Some challenges still have to be in mind. Some examples for the coming years of them will be stressed out.

**1. HET PRILLE BEGIN**

Ontmoetingen tussen vertegenwoordigers van de hiërarchische lijn van het SCK• CEN en van het CEPN hebben, op het einde van de jaren 80, geleid tot de beslissing om op het SCK• CEN het optimalisatieprincipe op een coherente en praktische manier op te bouwen. Door het bijwonen van studiedagen in Frankrijk, Saclay, hebben enkele leidinggevende medewerkers van het SCK• CEN grondig kennis kunnen maken met dit principe. In de daaropvolgende weken vonden de eerste vergaderingen van het "ALARA-comité" plaats. Gelijktijdig werd gestart met het ontmantelingsprogramma van de BR3 die in 1987 werd stopgezet. De eerste realisaties van het optimalisatieprincipe gebeurden op BR3. Door gebruik te maken van de software DOSINAT en DOSIVIV werd bijvoorbeeld de ganse ontsmettingscampagne van de primaire voorbereid en opgevolgd.

**2. LA MISE EN PLACE**

Les premières réalisations conduisant à une meilleure maîtrise de l'approche ALARA, une généralisation à l'ensemble du SCK• CEN fut décidée. Dans ce but, plusieurs actions furent entreprises:

- formation de collaborateurs
- désignation de coordonnateur ALARA locaux
- formalisation du comité "ALARA et Sécurité"
- mise en oeuvre d'une procédure ALARA



Concrètement, fin 1991, une dizaine de collaborateurs du SCK• CEN, représentant les divers départements et services, furent envoyés pour formation au CEPN (Fontenay-aux-Roses). Durant trois jours, ils prirent contact avec les aspects tant théoriques que pratiques liés à la démarche ALARA. Les bases de contacts réguliers avec les collègues du CEPN furent ainsi établies et une cohérence au sein des diverses installations, favorisée. Ces personnes furent alors chargées d'assurer la gestion dans leurs installations respectives de l'approche ALARA. Pour les aider dans cette tâche, le comité "ALARA", déjà âgé de quelques années, se vit renouvelé et ses missions, étendues. Ainsi, se réunissant mensuellement et rapportant au directeur général, le "Comité ALARA et Sécurité" s'adjoignit la présence d'un médecin du travail, d'un représentant du service de la gestion des déchets radioactifs. Parallèlement à cela, les premières tentatives de rédaction d'une procédure ALARA furent entreprises (v. 4).

### **3. ONTMANTELING BR3: EEN DRAGEND PROGRAMMA**

Vooraleer verdere informatie te geven over de ALARA-procedure is het van belang te herhalen dat de ontmanteling van de BR3 een dragend project gebleven is. Na ontsmetting van de primaire kringen, begonnen de projectleiders met de eerste snijdingen. De resultaten van de ontsmetting waren positief, maar in de toekomst moest men nog plaatsen met tamelijk hoge dosisdebieten behandelen. Daarom werd beslist alle technische procedures te vervolledigen door het invullen van de eerste versie van de ALARA-procedure. Deze werd dus getest vooraleer ze in gebruik genomen werd op gans het SCK• CEN. Gedurende enkele maanden konden de werknemers van BR3 rekenen op de bijstand van een collega van CEPN. Dit had als resultaten een doorlopende opleiding en een vruchtbare uitwisseling van informatie. Tot op vandaag is BR3 nog steeds een piloot-project op gebied van de ALARA-aanpak. De software VISIPLAN bijvoorbeeld (zie verder), heeft zijn eerste uitgebreide toepassingen met succes doorstaan op BR3.

### **4. LA PROCÉDURE ALARA AU SCK•CEN**

Sur base des contacts réguliers avec le CEPN et après avoir obtenu des informations très complètes sur la procédure ALARA mise en place aux KC Doel, la rédaction d'une procédure spécifique pour le centre de Mol fut entamée. Comme d'autres institutions du même type, le SCK• CEN fait montre de caractéristiques propres et qu'il convient de prendre en compte. A titre d'exemples:

- diversité des personnes concernées; les personnes occupées au SCK• CEN sont de formations diverses, ont des missions parfois très différentes (chercheurs, techniciens de maintenance,...)
- nécessité d'assurer une grande flexibilité, compte tenu des opérations multiples et des modifications fréquentes intervenant dans les installations
- l'usage des langues constitue également un élément crucial si l'on souhaite une efficacité maximale sur le terrain

Enfin, et contrairement à ce qui s'appliquait jusqu'alors, le souhait a été émis d'associer dès le début de la rédaction les collègues qui, par la suite et sur le terrain, auraient à appliquer la procédure. Une première version bilingue fut dès lors rédigée, utilisant notamment l'expérience acquise à BR3. Trois réunions d'information furent

organisées et plus de 80 collègues y assistèrent. Les remarques et autres propositions faites à cette occasion ont permis, d'une part, d'améliorer sensiblement la procédure elle-même et, d'autre part, d'accroître l'acceptation (et dont l'efficacité) par les "gens de terrain" de cette nouvelle procédure. En 1994, la version définitive était alors disponible et depuis, deux révisions ont été effectuées. L'informatisation des divers formulaires est également réalisée, autorisant un usage plus aisé mais aussi le traitement rapide, par analyse et retour d'expérience, des données recueillies.

## **5. OPTIMALISATIE: ANDERE TOEPASSINGEN**

Het is onmogelijk een opsomming te maken van alle toepassingen van de SCK• CEN ALARA-procedure, omdat alle installaties erbij betrokken zijn. Toch enkele voorbeelden:

- refurbishment BR2 (tijdsduur: 18 maanden)
- ontmanteling cel 10 op LHMA
- verwijdering asbest in de gecontroleerde zone van BR3
- samenwerking met DGXI van de EC op gebied van "Site Restoration" en in het kader van het European ALARA Network
- publicatie van een studie over de  $\alpha$ -waarde
- schrijven van een opleidingsmodule voor de international school for Radiological Protection
- vele publicaties en uiteenzettingen/voordrachten in binnen- en buitenland

## **6. LES LEÇONS DE DIX ANNÉES D'OPTIMISATION**

La formalisation de l'approche ALARA a conduit à des résultats tant sur le plan quantitatif des doses que sur le plan qualitatif. Quelques illustrations de ces résultats sont données ci-dessous.

- Une première conséquence fut la généralisation au SCK• CEN d'une dosimétrie opérationnelle; c'est ainsi qu'en plus du dosimètre légal et du dosimètre complémentaire pour les zones contrôlées, de nouveaux dosimètres électroniques (et les outils de gestion adaptés) furent mis à disposition. Le suivi dosimétrique s'en est trouvé amélioré et en certaines circonstances, a conduit à des actions de remédiation rapides et efficaces.
- Comme il fallait s'y attendre, une réduction des doses, individuelle et collective, a été observée; il est ainsi devenu possible de ramener la contrainte interne au SCK• CEN de 20 mSv à 10 mSv par personne et par année. Quelques dépassements de cette dernière valeur ont été observés mais ils étaient liés à des opérations très ciblées et ayant fait l'objet d'une étude ALARA préalable approfondie.
- De manière un peu inattendue, une réduction du taux de fréquence des accidents de travail a été constatée; certes, la procédure ALARA du SCK• CEN porte l'attention sur les risques non radiologiques également mais ces derniers n'y sont pas encore étudiés de manière aussi approfondie que les risques radiologiques. Cette observation conduit en tout cas à émettre l'hypothèse qu'une telle

procédure engendre une amélioration de la Culture de Sécurité au sens le plus large.

- Si une valeur de l'homme-Sievert a bien été proposée (approche par catégories et non une valeur unique), force est de reconnaître qu'il a peu été fait usage de cette valeur dans la pratique. Cet aspect de l'optimisation demeure encore un élément nécessitant un réexamen et non uniquement au niveau du Centre de Mol.
- Globalement, l'attention apportée à l'optimisation au SCK• CEN s'est fortement accrue; il faut toutefois signaler que des confusions demeurent encore dans l'esprit de certains collègues entre "bonne pratique" et "optimisation". Cette observation illustre l'importance du caractère nécessairement continu de l'information et de la formation en la matière.
- Enfin, comme déjà sous-entendu ci-avant, l'application du principe ALARA a un impact indéniablement positif sur la Culture de Sécurité. Il est alors logique de se poser des questions quant aux aspects liés à la responsabilité en cas d'accident; en d'autres mots, la loi actuelle (et les juristes le reconnaissent) en ce domaine n'a pas intégré le concept de "Culture de Sécurité", cette dernière n'impliquant pas la désignation d'un "coupable" mais plutôt, la responsabilité d'une chaîne d'acteurs à des niveaux divers.

## **7. ... ONVERWACHTE ONTWIKKELINGEN!**

Naast de hierboven vermelde resultaten, waren er ook onverwachte gevolgen. De bestaande ALARA-procedure bijvoorbeeld, werd in bepaalde installaties van het SCK• CEN als standaardprocedure opgenomen wat het belang van deze benadering in het dagelijkse werk bewijst. Er werden ook spontane initiatieven ondernomen zoals op BR2 waar er een taak was die een tamelijk hoge dosis kon opleveren. Na een eerste ALARA-studie werd een vermindering met factor 2 van de opgelopen dosis vastgesteld. Enkele maanden later voerden de operatoren die met deze taak belast zijn op vrijwillige basis een verdere analyse uit. Op basis hiervan werd de technische procedure aangepast met als gevolg een nieuwe daling van de dosis met factor 2! Vrij vroeg werd opgemerkt dat de oorspronkelijke stap in de ALARA-procedure (voorbereidingsfase) problemen kon veroorzaken. Het verkrijgen van dosisdebieten en de nauwkeurige lokalisatie van radioactieve bronnen en hun bijdragen aan de opgelopen dosis brachten soms moeilijkheden met zich mee. In het prille begin werd gebruik gemaakt van software zoals Microshield, maar als snel bleek dat deze software voor onze werkzaamheden niet meer voldeed. Een volledig nieuwe software, VISIPLAN, werd ontwikkeld. Met enkele woorden laat VISIPLAN ons toe de verschillende opties grondig te bekijken, terwijl VISIPLAN gebruik maakt van een nauwkeurige modelisatie van de werkplaatsen, kunnen de werkzaamheden gesimuleerd worden. De invloed van verschillende bronnen en het resultaat door bijkomende afscherming te gebruiken, kunnen op een zeer aangename manier vastgesteld worden. Door een \*-camera (of scanning systeem) aan te koppelen, kunnen de bronnen geïdentificeerd worden (vestiging, belang qua dosis, activiteit) en kan deze input voor VISIPLAN dienen. Er zijn, zowel op het SCK• CEN als extern, vele toepassingen geweest en bovendien heeft een grote Franse onderneming in de

nucleaire sector deze software reeds aangekocht. Meer informatie over dit efficiënt werkinstrument kan bekomen worden op het SCK• CEN.

## 8. BIEN DES QUESTIONS ENCORE EN SUSPENS

Il est évident que l'approche mise en place au SCK• CEN, avec les résultats positifs, certes, enregistrés, n'a pas encore permis de répondre à toutes les interrogations en matière d'optimisation. Certaines d'entre elles ont d'ailleurs une portée dépassant le cadre d'une seule institution. Qu'il nous soit permis d'indiquer quelques pistes de réflexion potentielles, sans vouloir maintenant les étudier de manière détaillée.

- Quel est le lien entre principe d'optimisation et principe de précaution? Si ce lien existe réellement, comment concilier les diverses approches et hypothèses à la base de ces deux principes. Ces principes ne sont-ils pas quelque peu contradictoires?
- Que faut-il attendre de la valeur de l'homme-Sievert? S'agit-il purement et simplement d'un outil théorique? Doit-on (si cela est faisable, voire souhaitable) tendre vers une uniformisation des valeurs retenues au niveau fédéral ou à d'autres niveaux?
- Jusqu'où optimiser? En d'autres termes, une pratique ne se limite généralement pas à une série d'opérations en milieu nucléaire. Des déchets peuvent être produits, des phases ultérieures à l'opération optimisée peuvent bénéficier ou souffrir de l'optimisation effectuée.

## 9. TOEKOMSTIGE PERSPECTIEVEN

Rekening houdend met de voorafgaande beschouwingen is het duidelijk dat de toekomstige perspectieven aantrekkelijk zijn. Voor wat de software VISIPLAN betreft, zijn we reeds begonnen met een uitbreiding naar een 3D-benadering. Samenwerken op verschillende niveaus (EAN, EG,...) dient versterkt te worden. Een deelname aan de IRID-databank zou door het uitwisselen van informatie een positieve meerwaarde kunnen betekenen. Bovendien moet, zoals aangetoond tijdens de 4<sup>th</sup> European ALARA Network Workshop, optimalisatie een algemeen begrip worden. "Van ALARA naar ASARA"... hoe hiertoe komen en hoe lang zal dit duren, zijn uitdagende vragen. Tenslotte, met het begin van een nieuw project binnen het European ALARA Network, "Benchmarking" voor onderzoekscentra, zouden we een beter zicht moeten krijgen op de toepassingen van het ALARA-principe.

## 10. CONCLUSIONS... PROVISOIRES!

Si l'on jette un regard rapide sur les dix dernières années, il est indubitable que l'optimisation au SCK• CEN a eu des conséquences bien tangibles. D'une part, la mise en pratique du principe ALARA a marqué une **étape importante** de l'approche en matière de radioprotection. De nouveaux moyens, de nouvelles procédures, de nouvelles attitudes ont vu le jour, conduisant à une amélioration significative de la protection des personnes occupées au SCK• CEN.

D'autre part, et quelques chantiers l'ont démontré, l'optimisation telle que comprise à ce jour n'est qu'une **étape intermédiaire** si l'on considère la problématique globale du "Risk Management". Ce sont non seulement les risques radiologiques mais aussi

les risques non radiologiques (travailleurs, public, environnement) qui doivent pouvoir bénéficier des enseignements tirés de l'optimisation. En d'autres mots, et pour conclure, le principe ALARA n'est pas une technique, n'est pas une procédure de calculs, pas plus qu'une justification a posteriori. Le principe ALARA se doit d'être considéré comme "une façon de vivre", comme un comportement dont l'objectif majeur vise à établir une Culture de Sécurité et de Bien Etre au sens le plus large du terme.

C'est en ce sens que le SCK• CEN continuera à œuvrer dans les prochaines années au travers de projets internes mais aussi de collaborations aussi nombreuses que diversifiées.

## **Résumé**

Vers la fin des années 80, la direction générale du Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire décida de considérer le principe ALARA comme l'une des priorités majeures pour les années à venir et, par voie de conséquence, de mettre les moyens requis à disposition dans le but de concrétiser cette approche de la radioprotection.

Depuis lors, de nombreuses étapes ont été franchies; de la formation de collaborateurs du SCK• CEN, jusqu'au développement du logiciel VISIPLAN, en passant par l'instauration de la procédure ALARA au sein du SCK• CEN et la participation à de nombreux programmes nationaux et internationaux, la décennie écoulée illustre à souhait l'importance prise par l'optimisation des doses au SCK• CEN ainsi que le rôle moteur joué par ce dernier en la matière.

La présentation a pour objet essentiel de retracer l'histoire de ces dix dernières années, en s'appuyant sur la description des principales étapes ainsi que sur l'indication des résultats marquants obtenus depuis la décision initiale.

L'exposé permettra également de poser quelques questions relatives au "futur" du principe ALARA c.à.d. ses évolutions potentielles et le rôle qu'il pourrait être appelé à jouer dans les prochaines années.

## **Samenvatting**

Eind jaren 80 werd door de algemene directie van het Studiecentrum voor Kernenergie beslist om het ALARA-principe als één van de prioriteiten voor de komende jaren te beschouwen. Bovendien werden de middelen die hiervoor nodig waren gedefinieerd.

Ondertussen zijn reeds talrijke stappen uitgevoerd, gaande van opleidingen voor medewerkers van het SCK• CEN tot de ontwikkeling van de software VISPLAN. Er werd een ALARA-procedure opgestart en deelgenomen aan diverse nationale en internationale programma's. De laatste tien jaren geven een goed overzicht van het

belang van de optimalisatie van de dosissen op het SCK• CEN enerzijds en van de drijvende kracht van het SCK• CEN hierachter, anderzijds.

Het voornaamste doel van deze uiteenzetting is het naar voor brengen van de geschiedenis van de laatste tien jaren. Dit zal gebeuren door de belangrijkste stappen te beschrijven en de duidelijke resultaten die sinds de oorspronkelijke beslissing bereikt zijn, te vermelden.

De voordracht zal ook enkele vragen bevatten over de "toekomst" van het ALARA-principe, de mogelijke evolutie en de rol van het principe tijdens de volgende jaren.