

ANNALEN
VAN
DE BELGISCHE VERENIGING
VOOR
STRALINGSBESCHERMING

VOL. 3 NR. 3

1978

DRIEMAANDELIJKSE
UITGAVE

PUBLICATION
TRIMESTRIELLE

ANNALES
DE
L'ASSOCIATION BELGE
DE
RADIOPROTECTION

Hoofdredacteur

Prof. Dr. O. SEGAERT

Rédacteur en Chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART

Secrétaire de Rédaction

14 Juliette Wytmanstraat

14 rue Juliette Wytman

1050 BRUSSEL

1050 BRUXELLES

INHOUD

SOMMAIRE

R. LATARJET :

La pollution chimique mutagène et le système des rad-équivalents. 129

D. BENINSON :

" The new concept introduced in the Publication 26 of ICRP " 143

P. RECHT :

Réflexions sur la revision des directives Européennes dans le domaine de la radioprotection. 153

J. GARSOU :

IXè Congrès International de la Société Française de Radioprotection sur les effets biologiques des rayonnements non ionisants. Leur utilisation et leurs risques associés. 161

LA POLLUTION CHIMIQUE MUTAGENE ET LE SYSTEME DES RAD-EQUIVALENTS.

R. LATARJET

Le texte qui suit est le rapport de la conférence que le Professeur R. LATARJET a faite à l'Association Belge de Radioprotection le 14 avril 1978, mis en page par le Professeur R. GILLET, à partir de deux articles du Professeur LATARJET (1, 2) et avec l'accord de celui-ci.

RESUME

Depuis plus de 20 ans, la pollution par les radiations est soumise à des règles de limitation édictées et périodiquement révisées par une Commission Internationale, et adoptées par presque toutes les législations nationales. Rien de semblable n'existe pour la pollution par les mutagènes chimiques. Comme ces substances agissent sur le matériel génétique des cellules selon des réactions souvent très semblables à celles que produisent les radiations, on a pensé pouvoir, sur la base de ces similitudes, établir des Rad-équivalences pour les plus importantes de ces substances.

On pourrait alors d'une part, extrapoler les règles admises pour les radiations, et d'autre part, additionner les nuisances mutagènes et les contrôler dans leur ensemble.

Le présent article pose ce problème et discute des conditions qui doivent être satisfaites pour qu'une Rad-équivalence ait un sens.

Enfin, il donne quelques exemples d'équivalences ponctuelles déjà établies et des premières conséquences pratiques qu'on peut en tirer.

La pollution chimique mutagène, phénomène important de notre civilisation industrielle, est un problème dont, il faut bien le constater, l'étude fondamentale n'a pas encore été poussée fort loin.

Si on s'est intéressé à la toxicité générale, dont les effets se manifestent rapidement sur les individus atteints, on a négligé la toxicité génétique dont les effets se manifestent à long terme parmi les descendants, parfois lointains, de ces individus.

Aucune règle internationale n'existe qui limite, pour ces substances, les doses admises ou tolérées, au delà desquelles l'organisme pollueur serait en infraction.

On peut dire que la plus grande anarchie et la plus grande inconscience règnent dans ce domaine.

La raison en est, sans doute, qu'aucun accident spectaculaire de très grande ampleur n'a encore alerté une opinion et des pouvoirs publics peu imaginatifs et peu courageux. Cette attitude contraste avec celle qui a été adoptée depuis longtemps à l'égard de la pollution par les radiations ionisantes.

Les accidents survenus chez les radiologues et chez certains malades traités par des substances radioactives, ont de bonne heure alerté l'opinion sur les dangers d'un excès de radiations ionisantes.

C'est pourquoi, dès 1928, une Commission Internationale de Radioprotection (I.C.R.P.) fut fondée.

Elle était chargée de codifier les méthodes de mesures, et de recommander des limites pour des doses considérées comme admissibles. Le développement de l'énergie atomique a donné à ce problème une dimension nouvelle, et les horreurs d'Hiroshima et de Nagasaki ont sensibilisé l'opinion.

Dès 1950, le rôle de l'I.C.R.P. est devenu très important.

Cette commission a adopté l'attitude suivante :

- Les bases scientifiques qui permettraient de définir les doses admissibles sans ambiguïté, sans incertitude et de manière non criticable, ne sont pas encore à notre portée.

Toutefois, nous savons suffisamment de choses pour prendre des décisions approximatives raisonnables, se rapportant aux principales circonstances d'utilisation des radiations et d'exposition à celles-ci.

Sachant que ses recommandations étaient imparfaites, on n'hésita pas à les améliorer chaque fois que des connaissances nouvelles permettaient de le faire.

Depuis 25 ans, les recommandations de l'I.C.R.P. ont été périodiquement mises à jour. Cette attitude réaliste a rendu les plus grands services; c'est sur les recommandations de l'I.C.R.P. que se sont fondées les législations nationales.

Malgré leurs imperfections, elles ont mis de l'ordre dans le problème de la pollution par les radiations ionisantes.

Ainsi, la pollution mutagène chimique a-t-elle 25 ans de retard sur celle par les radiations; cette carence est d'autant plus regrettable, qu'en quantité, la pollution chimique est actuellement beaucoup plus impor-

tante que la pollution par les radiations.

Il est clair que cette situation doit prendre fin. Nous devons, sans trop tarder, fixer les doses raisonnables admissibles, pour les principaux représentants de cette pollution, tout en sachant que nous avons encore beaucoup à apprendre dans ce domaine et que les décisions devront être révisées périodiquement.

Devant les bienfaits que l'ont doit à l'I.C.R.P., la même attitude semble devoir être prise pour la pollution chimique mutagène.

Il serait certes très long et très laborieux de suivre, pour chacun des principaux composés, les étapes par lesquelles il a fallu passer pour aboutir aux règles aujourd'hui fixées pour les radiations.

Mais il semble exister un autre chemin, c'est le système des Rad-équivalents.

On a relevé depuis longtemps de nombreuses analogies dans les modes d'action des radiations d'une part, et des mutagènes chimiques d'autre part, sur le matériel génétique, c'est-à-dire les acides nucléiques et les nucléo-protéines. Ces deux catégories d'agents attaquent ce matériel et y produisent des lésions quelquefois différentes mais souvent comparables et parfois même identiques : à telle enseigne, que les premiers mutagènes chimiques furent appelés substances radiomimétiques.

Lorsque ces deux types d'agents attaquent le matériel génétique, ils ont en commun d'éliciter la mise en fonctionnement de systèmes cellulaires de réparation qui tendent à effacer les lésions.

Ainsi, lorsqu'une couche cellulaire est hypersensible aux radiations parce qu'il lui manque héréditairement tel ou tel système de réparation, elle est souvent hypersensible aux agents mutagènes chimiques dont les lésions sont reconnues par le même système de réparation.

Une analogie particulière réside dans la mutagénèse par réparations fautive, phénomène récemment découvert : de nombreuses radiomutations sont dues, non pas à la radiolésion elle-même, mais à des fautes commises lors de leurs réparations. Il semble en être de même pour certaines mutations chimiques; dans ce cas, la mutagénèse procéderait du même mécanisme.

Mais ce n'est pas toujours ainsi. Tel produit chimique est mutagène sur tel système par des mécanismes relativement distincts de ceux qu'utili-

sent les radiations, en sorte que le type de mutation finalement obtenu, n'est pas le même pour les deux agents, et ses conséquences lointaines en sont différentes.

Il serait naïf de prétendre que les deux catégories d'agents sont identiques, mais on peut reconnaître qu'elles sont très souvent suffisamment proches l'une de l'autre pour autoriser des comparaisons quantitatives, c'est-à-dire des équivalences.

Ainsi est née l'idée d'établir une équivalence entre la dose d'un certain composé et une dose de radiation sur la base des effets produits sur un ou plusieurs systèmes biologiques de référence.

Supposant cette équivalence établie, on pourrait alors extrapoler les règles de la radiosécurité à la sécurité vis-à-vis de ce composé.

En outre, l'emploi d'une unité commune, le Rad, permettrait d'additionner les risques individuels de plusieurs mutagènes auxquels on se trouve simultanément exposé, de manière à exprimer le risque total, dans le cas où il aura été démontré que ces risques sont additifs.

Nous allons examiner ci-après dans quelle mesure, et dans quelles conditions ce principe de Rad-équivalence nous paraît applicable.

Le concept de Rad-équivalence n'est valable que si certaines conditions préalables sont satisfaites. Examinons-les tour-à-tour :

- Toute comparaison quantitative entre deux grandeurs exige que ces grandeurs soient interchangeables vis-à-vis de l'effet considéré.

L'effet final doit être le même, bien que les mécanismes qu'il entraîne présentent nécessairement des différences puisque les interactions initiales sont différentes.

Cette exigence doit être vérifiée avec beaucoup de circonspection.

Lorsqu'on compare les effets létaux d'un mutagène chimique et des radiations, l'interchangeabilité est en général réalisée, car la mort, c'est-à-dire l'arrêt du fonctionnement du système, est un phénomène non évolutif.

On peut comparer quantitativement les efficacités létales d'armes différentes qui procèdent par des atteintes différentes.

En revanche, en ce qui concerne les mutations, la comparaison est plus subtile car il existe divers types de mutations dont les répercussions

généétiques à long terme sont différentes.

A titre d'exemple, imaginons un produit chimique dont l'activité mutagène sur le système choisi résulte de petites délétions, et supposons que les radiations exercent leur action mutagène sur ce système par des aberrations chromosomiques.

Il est probable que les conséquences génétiques des délétions seront plus graves que celles des aberrations chromosomiques. Si l'on mesurait une équivalence sur la base des mutations totales, les conséquences génétiques de l'agression chimique seraient sous-estimées par rapport à celles des radiations.

Dans ce cas, les mutations totales ne constituent pas la grandeur interchangeable; ce ne sont donc pas elles qu'il faut mesurer ici, mais plutôt les létaux récessifs indicateurs des délétions.

- Les doses comparées des deux agents, doivent être définies sans ambiguïté. Une dose de radiation est le produit d'un flux d'énergie radiante par le temps d'exposition :

$$D = \psi \times t$$

La dose du composé chimique doit être par le produit :

$$D = C \times t$$

de la concentration par le temps de contact.

L'équivalence entre les doses n'est alors que l'équivalence entre le flux de radiations et la concentration du composé. Cette équivalence est légitime puisque dans les deux cas, la grandeur

$$\psi \text{ ou } C$$

représente, à un instant donné, la densité des éléments d'interaction, (photons, électrons, molécules) au voisinage de la cible biologique considérée.

- Les doses ainsi définies n'ont de sens que si, lorsqu'on fait varier les deux facteurs du produit en sens inverse, de manière à maintenir le produit constant, l'effet biologique considéré qui en résulte reste approximativement le même.

Cette réciprocité entre le flux de radiations et le temps est bien connue des photochimistes.

Nous savons que lorsque l'un des deux facteurs devient suffisamment faible et l'autre suffisamment grand, les phénomènes de restauration ou de saturation viennent diminuer l'efficacité de la dose.

Il en est de même pour l'agression chimique, ainsi que plusieurs études l'ont montré, dans un intervalle raisonnable des concentrations et des temps, la réprocité est en général bien observée pour que le produit

$$C \times t$$

conserve sa signification.

Ici encore, les phénomènes de réparation et de saturation se manifestent au delà de cet intervalle.

- Pratiquement, pour déterminer une équivalence, on applique successivement, sur le système choisi, des doses croissantes de radiations d'une part, et du composé d'autre part.

On détermine ainsi les deux courbes dose-effet sur lesquelles la comparaison quantitative est effectuée.

Si les courbes sont homothétiques, l'équivalence trouvée reste la même tout au long des courbes.

Il suffit de choisir convenablement les abscisses pour les faire coïncider; si, au contraire, les courbes ont des formes différentes, la valeur d'équivalence varie avec la dose, ce qui en limite, évidemment, l'intérêt.

- Il est nécessaire de s'assurer de la manière dont l'équivalence peut varier avec les conditions expérimentales.

Si, par exemple, on considère un système cellulaire et on fait varier les conditions physiologiques, la sensibilité aux radiations, comme la sensibilité aux mutations chimiques, peuvent varier.

Il arrive que ces variations ne soient pas parallèles, et même s'exercent en sens contraire.

On est donc amené à considérer un spectre plus ou moins étendu de valeurs.

Plus de spectre est étendu, moins il devient possible de considérer une valeur d'équivalence de caractère général.

On ne peut plus considérer alors que des équivalences ponctuelles se rapportant à des conditions bien définies.

- Une variation particulièrement importante est la variation avec l'espèce animale ou végétale considérée; on sait depuis longtemps que la sensibilité à l'effet mutagène des radiations varie d'une espèce à l'autre. La sensibilité à l'effet des mutagènes chimiques varie également. Si ces deux variations étaient parallèles, la Rad-équivalence d'un composé donné, toutes choses égales d'ailleurs, serait la même pour toutes les espèces.

On conçoit l'intérêt de cette question en particulier pour l'extrapolation des résultats expérimentaux à l'Homme.

Récemment, la sensibilité d'une espèce à l'effet mutagène des radiations, a été décrite comme fonction lineaire croissante de la quantité de DNA contenue dans le noyau haploïde, fonction représentée par la droite dite A B C W, du nom des auteurs.

Existe-t-il une relation semblable avec les mutagènes chimiques ?

Une réponse positive vient d'être donnée à cette question dans le cas de l'éthylméthanesulfonate; toutefois, la relation A B C W est surprenante, et elle est déjà l'objet de critiques sévères, critiques qu'on peut également adresser à la droite trouvée pour l'éthylméthanesulfonate; aussi est-il trop tôt pour admettre la généralisation inter-spécifique d'une Rad-équivalence.

Examinons les résultats des valeurs ponctuelles qui ont déjà été trouvées pour l'éthylène et le formol.

EHRENBERG a étudié les effets génétiques de l'éthylène sur la souris.

L'éthylène est un produit général des combustions qui, dans l'organisme, est rapidement métabolisé en oxyde d'éthylène mutagène; au point de vue du risque génétique sur la souris, cette étude a permis de dégager l'équivalence suivante :

$$1 \text{ PPM} \times 1 \text{ heure} \sim \text{approximativement } 1 \text{ mRad.}$$

Le risque chez l'homme est inconnu, mais on a de bonnes raisons de penser qu'il est proche de celui chez la souris; considérant que, par suite des combustions, l'air d'une grande ville contient en permanence environ 0,05 PPM d'éthylène, on déduit de l'équivalence précédente que pour une

personne, vivant en permanence dans cette ville, le risque génétique dû à l'éthylène est de l'ordre de 5 fois celui de la radiation naturelle (500 mRad contre 100 mRad par an).

La quantité d'éthylène absorbée par celui qui fume en inhalant un paquet de cigarettes par jour, équivaut à 3.500 mRad par an, soit 35 fois la radiation naturelle.

Ces résultats appellent deux remarques :

a) l'équivalence trouvée échappe à toute critique puisque les normes établies pour les radiations sont essentiellement fondées sur la mesure des mutations totales induites chez la souris, c'est-à-dire sur le test ici utilisé pour l'éthylène.

b) cette équivalence suggère immédiatement une conséquence pratique telle qu'on ne manquera pas d'en déduire des Rad-équivalences et que je cite ici à titre d'exemple :

Lorsqu'une personne d'un Centre d'Energie Nucléaire, qui reçoit \pm 200 mRad de radiations par an, et qui fume un paquet de cigarettes par jour, développe un cancer du poumon, cette maladie est imputée aux radiations, donc considérée comme maladie professionnelle.

L'équivalence précédente conduirait à reconsidérer cette attitude.

L'étude sans doute la plus approfondie à ce jour concerne le formol, un des mutagènes les plus constamment et les plus abondamment émis par les combustions; elle occupe une grande place dans le vaste programme de l'Institut du Radium à Paris.

Cette étude embrasse les effets biochimiques sur le DNA et les nucléoprotéines, les effets létaux et mutagènes sur des micro-organismes (bactéries et levures), et sur des cellules de mammifères in-vitro. C'est avec le formol, qu'on s'est attaché à répondre à des questions fondamentales telles la réprocité entre la concentration et le temps de contact, ou telle l'étude du spectre d'équivalence lorsque varient les paramètres physiologiques et génétiques du système biologique considéré.

De cette étude dont les premiers résultats ont déjà été publiés, tirons ici, à titre d'exemple, deux données :

a) Les résultats observés sur les bactéries et les levures sont distri-

bués au sein d'un spectre assez large, dont le centre de gravité correspond à :

1 millimole x 1 minute \sim 14 Rad.

b) L'effet létal du formol sur les fibroblastes de la peau normale de l'homme a donné :

1 millimole x 1 minute \sim 6,6 Rad.

(ce qui signifie que, relativement au formol, les fibroblastes humains sont environ 2 fois plus radiosensibles que les micro-organismes considérés).

Ces deux équivalences peuvent-elles, nous être utiles ?

Considérons :

a) un cas de pollution générale, et

b) le cas d'une contamination localisée :

a) Il existe, dans le Sud-Ouest de la France, une région où l'extraction du gaz naturel s'accompagne de pollution permanente par le formol, laquelle est régulièrement contrôlée.

Cette pollution fluctue autour d'une valeur moyenne de 20 microgrammes par m³ d'air, avec des pointes de courtes durées qui atteignent 100 microgrammes par m³.

Pour l'instant, personne n'a la moindre opinion de la signification biologique de cette pollution qui, en conséquence, est tolérée.

Mais les deux équivalences précédentes, nous permettent de dire :

1°- que vis-à-vis de l'effet létal sur les fibroblastes humains, cette contamination de l'air par le formol équivaut à 2.500 mRad par an.

2°- que vis-à-vis de l'effet létal sur la microflore dont les bactéries et levures étudiées fournissent un modèle acceptable, cette contamination équivaut à 5 Rad par an.

Il ne faut pas se hâter d'en déduire que cette pollution est plus de 10 à 20 fois supérieure à celle qui est autorisée pour des radiations (170 mRad par an), car il s'agit ici d'effet létal pour le formol alors que la dose limite de radiations est fondée sur les effets génétiques à long terme.

Mais déjà, cette équivalence nous apporte un ordre de grandeur, qui n'était pas apparu jusqu'ici, et duquel on peut discuter.

b) La pollution locale par le formol dans les usines de produits chimiques doit être inférieure aux CMA (Concentration Maximum Admissible). Le tableau ci-après donne les valeurs de ces CMA dans plusieurs pays avec les équivalences correspondantes. Celles-ci sont fondées sur la valeur que nous avons donnée pour l'effet létal sur les fibroblastes humains, et supposent un séjour de 40 semaines de 30 heures dans les locaux pollués.

PAYS	CMA mg/m ³	Rads équivalents/an (40 sem. x 30 h)
U.S.A.	4	170
SUEDE	3	127
TCHÉCOSLOVAQUIE	2	85
ALLEMAGNE EST	2	85
ALLEMAGNE OUEST	1,2	50
U.R.S.S.	0,5	21

Au vu de tout ceci, quelles sont les perspectives ?

La pollution chimique mutagène ne peut pas demeurer dans la situation anarchique actuelle, la Société et les Autorités responsables ont besoin de données quantitatives sur ce qui est admissible et sur ce qui ne l'est pas dans les principales circonstances.

Par exemple, nous aimerions comparer quantitativement la pollution chimique par les Centrales Thermiques et la pollution radioactive par les Centrales Nucléaires à énergies produites égales.

Nous aimerions comparer aussi la pollution urbaine par les hydrocarbures polycycliques à la pollution par radiations en ce qui concerne les effets cancérigènes chez l'homme.

Le système des Rad-équivalents ouvre des possibilités, et les résultats ponctuels que l'on vient de citer l'ont illustré.

Certes, les tests biologiques ponctuels utilisés ne permettent pas d'extrapoler à des effets généraux tel que le futur génétique de l'espèce humaine; les consultants de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique l'ont bien exprimé dans leur rapport :

" A l'évidence, nous avons besoin d'une estimation quantitative du risque génétique des polluants chimiques, qui permette une comparaison avec les effets des radiations.

On a suggéré, que les doses admissibles pour les radiations puissent constituer un point de départ de contrôle d'un composé ayant des effets genotoxiques semblables.

Toutefois, il est clairement apparu que les méthodes générales suggérées pour l'évaluation de Rad-équivalents, soulèvent de nombreux problèmes non résolus, donc sont ouvertes à la critique ".

Mais faut-il nous en tenir là et attendre, avant de prendre quelques décisions, que tout le problème soit résolu ?

On ne le pense généralement pas; prenons la pollution par le formol.

Lorsqu'on nous apprend que règne une pollution de 20 microgrammes par m³, personne n'en peut rien dire, sommes-nous 1.000 fois au dessus ou 1.000 fois au-dessous de la dose tolérable admise ?

Personne n'en sait rien. Devons-nous demeurer longtemps dans un domaine d'incertitude de 10⁶ ?

Les résultats ponctuels que nous avons donnés suggèrent qu'à l'égard des deux tests choisis, cette pollution est de l'ordre de 10 à 100 fois celle que l'on tolère pour les radiations.

Certes, la marge d'incertitude est grande encore, et il n'est pas question d'extrapoler à la génétique humaine. Mais on reconnaîtra qu'il y a déjà là un progrès, que la zone d'incertitude est considérablement restreinte, et que d'autres résultats ponctuels permettraient de la restreindre encore.

D'ailleurs qu'on ne se leurre pas, les décisions prises concernant les radiations sont encore discutables, les valeurs sur lesquelles on les fonde incertaines.

Mais elles ont mis de l'ordre et on peut trembler en pensant à ce que serait aujourd'hui la technologie nucléaire si ces décisions, constamment révisées, n'avaient pas été prises.

C'est pourquoi je pense, que la politique à suivre est de multiplier les travaux et les déterminations ponctuelles, puis de prendre, le moment venu, *des décisions temporaires qui, comme pour les radiations, seraient revues et corrigées à mesure des progrès de nos connaissances.*

1) La Pollution Chimique Mutagène et le système des Rad-équivalents.

R. LATERJET, ENTROPIE,

1977, 78, 6 - 11.

2) Quantitative Mutagenesis by Chemicals and by Radiations : pre-requisites for the establishment of Rad-equivalences.

R. LATERJET, Research in Photobiology ed. A. Castelami. Plenum publishing Corporation U.S.A. 1977.

RESUME

Depuis plus de 20 ans, la pollution par les radiations est soumise à des règles de limitation édictées et périodiquement révisées par une Commission Internationale, et adoptées par presque toutes les législations nationales. Rien de semblable n'existe pour la pollution par les mutagènes chimiques. Comme ces substances agissent sur le matériel génétique des cellules selon des réactions souvent très semblables à celles que produisent les radiations, on a pensé pouvoir, sur la base de ces similitudes, établir des Rad-équivalences pour les plus importantes de ces substances.

On pourrait alors d'une part, extrapoler les règles admises pour les radiations, et d'autre part, additionner les nuisances mutagènes et les contrôler dans leur ensemble.

Le présent article pose ce problème et discute des conditions qui doivent être satisfaites pour qu'une Rad-équivalence ait un sens.

Enfin, il donne quelques exemples d'équivalences ponctuelles déjà établies et des premières conséquences pratiques qu'on peut en tirer.

SAMENVATTING

Sedert meer dan 20 jaar is de radioactieve verontreiniging onderworpen aan beperkende voorschriften die vooropgesteld zijn en periodiek herzien worden door een Internationale Commissie; deze voorschriften worden in nagenoeg alle nationale wettelijke bepalingen opgenomen.

Voor de mutagene chemische verontreiniging bestaan geen gelijkaardige voorschriften. Vermits deze stoffen op het genetisch materiaal van de cellen inwerken - dikwijls op dezelfde manier als ioniserende straling - is de gedachte ontwikkeld om, op basis van deze gelijkaardige invloed, "rad-equivalenten" voor de belangrijkste stoffen op te stellen.

Aldus bestaat de mogelijkheid om enerzijds de voorschriften voor ioniserende stralingen te extrapoleren, anderzijds de mutagene schade te sommen en de invloedsfactoren gezamenlijk aan controle te onderwerpen.

Deze bijdrage stelt het probleem en bespreekt de geldigheidsvoorwaarden voor het invoeren van een "rad-equivalentie".

Voorbeelden illustreren enkele reeds opgestelde equivalenten en de eerste resulterende praktische gevolgtrekkingen.

SUMMARY

Since more than 20 years, the radioactive pollution is submitted to limitative rules, set up and periodically reviewed by an International Commission, and taken over into almost all national regulations.

Any similar recommendations do not exist presently for the chemical mutagenic substances. Since these latter operate on the genetic material of the cells in a way often very similar to the ionizing radiations, it was thought possible, on the basis of this similarity, to define "Rad-equivalences" for the principal substances.

It would then be possible to extrapolate the rules set up for the ionizing radiations, and also to add up the various mutagenic detriments and to regulate them as a whole.

The present paper introduces the question and argues about the conditions required for the validity of a Rad-equivalence. Lastly, it shows some examples of equivalences already established inside narrow boundaries and the first practical consequences.

ZUSAMMENFASSUNG

Seit mehr als 20 Jahren unterliegt die radioaktive Pollution einschränkende Regeln, die durch eine internationale Kommission aufgestellt und in regelmäßigen Zeitabständen überarbeitet werden; diese Regeln sind in fast alle nationale Vorschriften übernommen worden. Auf dem Gebiet der Pollution durch chemische Mutagene bestehen keine vergleichbaren Regelungen.

Da diese Substanzen auf das genetische Material der Zellen in einer oft ähnlichen Weise einwirken wie ionisierende Strahlen, ist es denkbar, aufgrund dieser Ähnlichkeiten "Rad-Äquivalenzen" für die wichtigsten dieser Substanzen aufzustellen.

Man könnte dann einerseits die für die ionisierenden Strahlen festgelegten Werte extrapolieren, andererseits die Schädigungen durch mutagene Substanzen addieren und dann beide in ihrer Gesamtheit kontrollieren.

Der vorliegende Beitrag führt die Problematik ein und untersucht die Bedingungen, die für eine sinnvolle Rad-Äquivalenz erfüllt sein müssen. Schließlich werden einige Beispiele von einigen bestimmten bereits festgelegten Äquivalenzen angeführt und die sich daraus ergebenden ersten Schlußfolgerungen dargelegt.

" THE NEW CONCEPTS INTRODUCED IN THE PUBLICATION 26 OF ICRP "

Dr. D. BENINSON (ICRP and UNSCEAR)

The paper hereafter was written by A. Osipenco on the basis of the tape-recording of a lecture presented by Dr. Beninson to the Belgian Radiation Protection Association on June 23rd, 1978, and is published with his agreement.

ABSTRACT

The author presents the main differences between the previous ICRP recommendations and the Publication 26 : the meaning of the dose limits, the weighting factors for the doses to various organs, and the justification and optimization processes.

This last point is demonstrated using some simple mathematics and a few examples make it even clearer.

The talk of this afternoon will be mainly on the differences between the Publication 9 of ICRP, which is the basis of most of to-day's radiation protection regulations, and the Publication 26, published last year, which introduced some new concepts.

If you read carefully the ICRP 26, you will see that the parts which cover the same subjects as in ICRP 9, have changed very little : the dose limits for workers are still 5 rem per year for whole body irradiation, the dose limits for the public are still for most cases 0.5 rem in a year, in some other cases 0.1 rem in a year, which is a change.

However, the meaning of these dose limits has changed completely. In ICRP 9 the dose limits could be used for planning and for designing installations in such way that e.g. the dose for workers would not overpass 5 rem/year. In ICRP 26, the dose limits are still the lower boundary of a completely forbidden region, in normal circumstances of course, but values below these limits are not automatically permitted : they have to be justified and optimized before they can be permitted.

A second important change is the introduction of a new quantity which is a weighted whole body dose, the addition of weighted doses to various organs of the body, and to which apply one single limit. The effective dose

equivalent, given to the whole body uniformly would result in the same risk as the actual distribution of the doses to the various organs. The ICRP has identified several organs or tissues and has given them a weighting factor which reflects the proportion of the whole body risk which is due to that specific organ or tissue.

The rest are given a lump number for weighting, with the rule that one fifth, i.e. 0.06, should be given to each of the five organs which are most irradiated, the others being neglected. In this, the gastro-intestinal tract is counted as four organs : stomach, small intestine, upper large intestine and lower large intestine.

This is important when calculating the dose from an ingested radionuclide.

The skin, arms, forearms, feet and the lens of the eye are not included in the " remainder ".

The values of the weighting factors apply to the average worker or to the average member of the public. Of course, real radiobiological values should be different according to age or sex. It must be noted that the female breast is given a high weighting factor, in the same range as the sensitive organs : red bone marrow and lung.

If a single organ, the thyroid, absorbs a dose equivalent of 100 rem, the effective dose equivalent would be 3 rem and if there is no other organ irradiated, this must be compared to the limit of 5 rem.

This second change removes the inconsistency that existed in the previous recommendations where the same limit applied for some organs and for the whole body.

It comes from older days when there was implicitly an idea of a threshold below which there was no risk, which is inconsistent with the presently used assumption of linearity.

Let us come back to the concepts of justification and optimization.

Any new source of radiation, for the workers or for the public, must be justified by some direct benefit. If there is no benefit at all, even if the risk or the detriment are so small that they can be considered to be a quite acceptable increase of the normal risks of life, the relationship between benefit and risk remains negative and therefore the practice cannot be accepted.

In general, the net benefit B of the introduction of a new product or

of a new practice, can be expressed as the gross benefit (V - P) or the difference between the value and the cost of production.

If radiation is involved, the benefit is further reduced with the cost X for protection, taken separately from the cost of production, and with the remaining detriment Y, produced by the remaining dose.

$$B = (V - P) - X - Y$$

On this basis, the decision to introduce a new product or a new practice is still a political or an economical decision, it is not a decision of the radiation protectionist.

However, the role of radiation protection is to ensure that, as was said in ICRP 9, the remaining dose is kept " as low as readily achievable ". The Publication 26 has formalized it under the concept of optimization.

If the protection expensens are increased, one reaches a point after which the cost of further reducing the dose is higher than the value of the obtained reduction.

The optimization deals with these two variables : the cost of protection X and the remaining detriment Y.

The cost of protection is usually expressed in monetary terms and in order to solve the equation, the cost of the detriment should also be expressed in monetary terms, which presents ethical difficulties.

Under the assumption of linearity the detriment is proportional to the dose, therefore the total detriment is proportional to the addition of the doses to all individuals due to that source, or " collective effective dose equivalent commitment ", that will be called " collective dose ", expressed in man-rem.

$$Y = \alpha S_E^C$$

It must be clear that it implies the linearity of the dose-detriment relationship.

We come now to assign a monetary value to the man-rem. Several attempts and studies have tried to do so, usually by comparing risks or by assigning a value to a " statistical " life : by this approach, the value ranged from twenty to several hundreds of dollars per man-rem.

Using a different approach, i.e. by trying to define how much one would be willing to pay for the suppression of a risk, also in other fields than radioactivity, the values that could be assigned to a man-rem are also in the range of 100 to several hundred dollars. The highest known value has been adopted by the U.S. Nuclear Regulatory Commission for the assessment of reactors : 1000 dollars per man-rem.

It will be shown later that in most cases the value adopted for the man-rem, within a certain range, does not influence very much the decision. What is important is to have adopted one value, which is to be used for the coherent optimization of different cases.

By taking another approach, as deciding what fraction of the 5 rem/year is acceptable in a given case, a value is implicitly given to the man-rem, but with the risk of an inconsistency in the judgement of various practices, or products, etc..

Optimization, i.e. obtaining the maximum net benefit possible by making minimum the sum of protection cost plus remaining detriment, is explicitly requested by Publication 26 of ICRP.

A given installation can usually be subdivided in sub-systems, each being associated to a cost of protection X_j and a remaining collective dose S_j . The objective of optimization is to minimize the addition

$$\sum_j (X_j + \alpha S_{E,j}^C)$$

The general solution of this type of equations is quite complicated, except if the sub-systems are independant, which allows to optimize each sub-system independently of the others

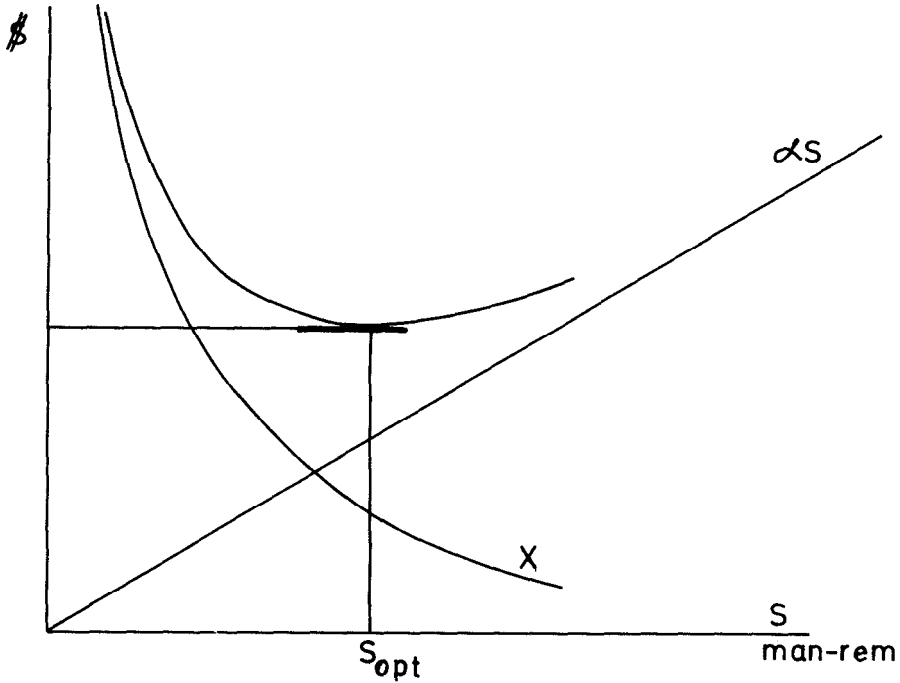
$$X_j + \alpha S_{E,j}^C = \text{minimum}$$

or

$$\frac{dX_j}{dS_{E,j}^C} + \alpha = 0$$

Graphically, it is represented by the point of minimum of a curve being the sum of the curve giving the cost of protection versus the remaining dose

and of the straight line giving the cost of the detriment expected from the remaining dose. At that point the slope of the "cost" curve is equal and opposite to the slope of the detriment.



In practice, it is usually not possible to vary the cost of protection in a continuous way, but well in discrete steps, by selecting one engineered system or another, each of them corresponding to a certain cost and resulting in a certain remaining detriment.

Graphically it is translated by a series of couple of points, giving the cost of protection and the remaining collective dose for a particular solution.

The condition for the optimum is

$$-\frac{X_B - X_A}{S_B - S_A} = \alpha$$

A practical rule to make a decision is to order the various options by increasing cost, to calculate for each pair of successive options, the ratio of the increment in cost to the difference in dose.

When this ratio is smaller than the cost assigned to the man-rem, the option can be retained.

As an example of optimization, one can consider the limitation of the re-release of short-lived noble gases from a BWR. This release occurs mainly via the main condenser air ejector system and additionally a small amount leaves the gland seal system of the turbine. Various alternatives can be applied for reducing the release; they are :

- A : decay in a delay tank filled with sand ;
- B : sand tank preceded by an oxygen-hydrogen recombiner in order to reduce the volume of gas sent to the tank and increase the delay time ;
- C : same as B plus an activated charcoal column for the trapping of noble gases ;
- D : same as C plus an inactive gland seal system on the turbine.

These solutions have been used or proposed for the various Swedish reactors.

The costs include the installation and operation for 30 years and the collective doses have been calculated according to usual UNSCEAR models as applicable to Swedish conditions.

The following table shows how the optimization technique can be used.

Alternative	A	B	C	D
Cost X (10^6 dollars)	2.32	3.26	4.66	9.32
Dose S_E^C (man-rem)	12000	160	12	8
ΔX (10^6 dollars)	0.94	1.4	4.66	
ΔS_E^C (man-rem)	11840	148	4	
$\frac{\Delta X}{\Delta S_E^C}$ (dollar/man-rem)	79	9460	1165000	

With the simplest system, of course, the collective dose is the highest but the cost is smaller. It can be seen from the table that if the value

attributed for the man-rem is about 100 dollars as in most countries, or even 1000 dollars as in the US assessments of reactor safety, the alternative B is selected and the optimization can be stopped here, without going to the alternative C or D.

The decision in this case is not sensitively depending on the value assigned to the man-rem. This decision leads to a dose of 0.2 mrem/year for the critical group, which is much lower than the dose limit.

Another example of optimization is the design of a shielding wall, e.g. for a cell in a reprocessing plant, or any installation with similar levels of activity. Usually the design is based on a dose rate of 2.5 mrem/h on the surface of the shielding, which would result in a dose of 5 rem per year for a worker permanently in this position during 2000 hours per year. Actually, the average yearly dose is usually about 10 times smaller because the workers do not remain constantly so close to the shielding. If one multiplies this average dose by the numbers of workers and by e.g. 10 years of operation, one obtains the collective total dose resulting from the design of the shielding.

The question is : should we reduce the dose by putting more shielding ?

The reduction is expressed as an exponential term of the thickness

$$l : e^{-\mu l}.$$

The collective dose is

$$S = e^{-\mu l} N \dot{H}_0 f r$$

where

- $e^{-\mu l}$: reduction factor for the thickness l
- N : number of workers
- \dot{H}_0 : dose limit : 5 rem/year
- f : ratio between average and maximum dose : 0.1
- r : number of years of operation : 10

The cost of the protection would be grossly proportional to the volume of concrete or :

$$X = C A l$$

where

- C : cost of installed concrete : 100 dollars/m³
- A : area of the shielding
- l : thickness of the shielding

The optimum is obtained when

$$\frac{d S}{d X} = -\alpha$$

By doing some arithmetics, we obtain :

$$e^{-\mu l} = \frac{C}{\mu \alpha \dot{H}_O f r} \frac{A}{N}$$

If, in addition to the values mentioned here-above, we assign a value of 100 dollars for the man-rem and if we consider a value $\frac{A}{N}$ of about 10 m² per worker, which is representative for a small reprocessing plant, we obtain that the reduction factor should be 1/5, which means that the shielding must be designed for 1/5 th of the dose limit.

Again in that example the optimal point is lower than the dose limit, but this is nit always the case. There are cases, such as in uranium mining, where the costs are such that the optimum point would be higher than the dose limits.

However, the dose limits are overriding and the ventilation conditions must be designed in order to respect them.

This new concept, explicitey introduced by the ICRP Publication 26 will most probably be rather difficult to introduce into national regulations : it should not be done straightforwardly without a lot of thinking and elaboration.

The second part of the lecture was devoted to the projection of slides giving the main results of the latest UNSCEAR report.

ABSTRACT

The author presents the main differences between the previous ICRP recommendations and the Publication 26 : the meaning of the dose limits, the weighting factors for the doses to various organs, and the justification and optimization processes.

This last point is demonstrated using some simple mathematics and a few examples make it even clearer.

RESUME

L'auteur présente les principales différences entre les recommandations antérieures de la CIRP et la Publication 26 : la signification des limites de dose, les facteurs de pondération des doses aux divers organes, les processus de justification et d'optimisation.

Ce dernier point est démontré par quelques raisonnements mathématiques simples et clarifié par quelques exemples.

SAMENVATTING

De auteur schetst de voornaamste verschillen tussen de vroegere ICRP aanbevelingen en Publicatie 26 : de betekenis van de dosislimieten, de gewichtsfactoren voor de dosissen van verschillende organen en het proces van rechtvaardiging en optimalisering.

Het laatste punt wordt aanschouwelijk gemaakt met behulp van enige eenvoudige wiskundige formules en verduidelijkt met enkele voorbeelden.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Autor zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen den alten ICRP Empfehlungen und der ICRP-Veröffentlichung 26 auf : die Bedeutung der Dosis-Grenzwerte, die Wichtungsfaktoren für die Dosiswerte einzelner Organe sowie die Rechtfertigungs- und Optimierungsverfahren.

Dieser letzte Punkt wird anhand einiger einfacher mathematischer Beziehungen demonstriert und durch einige Beispiele weiter veranschaulicht.

REFLEXIONS SUR LA REVISION DES DIRECTIVES EUROPEENNES DANS LE DOMAINE DE LA RADIOPROTECTION

Dr. P. RECHT

Le texte qui suit a été établi par A. Osipenco a partir de l'enregistrement d'une conférence présentée le 23 juin 1978 à l'Association Belge de Radioprotection par le Docteur Recht et il est publié avec son accord.

RESUME

En 1976, la Commission des Communautés a publié une directive fixant les normes de bases révisées pour la radioprotection. La Publication 26 de la CIPR, parue en 1977, a introduit des changements notables dans les recommandations de cette Commission, qui ont conduit les experts des Communautés à revoir immédiatement les normes de 1976 : nouvelle définition des limites de dose, nouveau système de limitation des doses internes. Une grande partie des normes de base changera peu : aspects opérationnels, enregistrement des doses, classification des zones, classification des travailleurs, surveillance médicale.

Par contre, l'introduction des concepts de justification et d'optimisation dans un document qui fixera des objectifs aux règlements nationaux, présentera certaines difficultés. En effet, l'acceptabilité d'un risque déterminé, ou l'attribution d'une valeur monétaire à un certain détriment, ou à l'homme-rem, peuvent varier considérablement.

D'autre part, les procédures de justification et d'optimisation s'appliqueront à l'irradiation médicale, à l'emploi des matières radioactives dans les biens de consommation, à l'irradiation naturelle dans certains cas. Les devoirs imposés aux autorités seront donc étendus : la qualification professionnelle et l'expérience acquise auront donc une grande importance.

Conformément aux dispositions du traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique EURATOM, celle-ci a publié en 1959 une directive fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants.

Il appartenait dès lors à chaque Etat membre d'établir les dispositions réglementaires destinées à assurer, en harmonie avec les autres Etats membres, le respect de ces normes, fondées, rappelons-le, sur les recommandations de la Commission Internationale de Protection contre les Ra-

diations (CIPR).

La Communauté a réuni un groupe d'experts, comprenant entre autres plusieurs membres de la CIPR, ayant pour mission de réexaminer périodiquement la validité des normes de base, à la lumière de l'expérience tirée de leur mise en pratique et de l'évolution des connaissances. C'est ainsi que des modifications partielles ont été apportées par les directives de mars 1962 et d'octobre 1966.

La parution en 1966 de la Publication 9 de la CIPR a entraîné une révision générale des normes de base qui a abouti, après une procédure fort longue, à l'adoption par le Conseil des Communautés, d'une directive, datée du 1^{er} juin 1976, donnant le texte complet des normes de base révisées. Des annexes donnaient notamment les limites d'incorporation annuelle et les limites dérivées de concentration dans l'air. Cette directive imposait un délai maximal de deux ans aux Etats membres pour y conformer leur réglementation.

Mais au début de 1977, la CIPR a fait paraître sa Publication 26 qui introduisait des changements notables dans les recommandations de cette Commission.

Immédiatement le groupe d'experts de la Communauté a réagi et a obtenu que la directive de 1976 soit revue en fonction de la Publication 26 de la CIPR.

Les Etats membres, dont les autorités compétentes connaissaient l'existence de la Publication 26, hésitaient à modifier leur réglementation pour l'adapter à la directive de 1976, sachant très bien qu'à relativement bref délai, ils devraient procéder à une nouvelle adaptation, sans doute plus importante, à des normes de bases modifiées en se fondant sur les plus récentes recommandations de la CIPR.

Dans ces conditions, pour éviter aux Etats d'être en infraction au sens du Traité d'Euratom, le délai de mise en application de la directive de 1976 a été prolongé de deux années supplémentaires.

La Communauté espère ainsi pouvoir soumettre à temps au Conseil, un projet de directive fixant de nouvelles normes de base qui tiennent compte de l'essentiel de ce qui est exprimé dans la Publication 26.

En effet, il faut rappeler que la CIPR a toujours explicitement indiqué

que ses recommandations sont rédigées sous une forme qui n'est pas acceptable dans une réglementation. Elles doivent être adaptées au contexte législatif et judiciaire et aux besoins et caractères propres de chaque nation. En tant qu'organisation internationale, Euratom établit, à partir des recommandations de la CIPR, des objectifs que chaque Etat doit atteindre avec les moyens dont il dispose.

Quelles sont les notions importantes introduites par la Publication 26 de la CIPR, qui pourront être transposées dans la nouvelle version des normes de base ?

La notion de dose maximale admissible, est remplacée par celle de dose limite, à ne pas franchir, sauf dans certains cas précis (p. ex. l'irradiation exceptionnelle concertée) et en dessous de laquelle il faut procéder à l'optimisation de la relation coût-bénéfice.

Pour les travailleurs, la limite annuelle de dose au corps entier est fixée à 5 rem. Dans la pratique, cette dose est rarement dépassée et la dose annuelle moyenne des travailleurs professionnellement exposés se situe en dessous du tiers de cette limite. La limitation de la dose cumulée en fonction de l'âge n'a plus de sens et est donc supprimée. D'autre part, la Publication 26 ne fixe pas de limites pour les doses trimestrielles.

Pour la population, la recommandation limite à 0,5 rem la dose annuelle pour les individus du groupe critique. Il n'y a pas de limite fixée pour la population dans son ensemble parce qu'il est considéré que si la limite de 0,5 rem est respectée pour le groupe critique, il y a très peu de chance que la dose moyenne de la population dépasse 50 mrem par an. La limitation à 5 rem pour 30 ans n'est donc plus contenue dans les nouvelles recommandations.

En ce qui concerne l'irradiation interne, la notion d'organe critique n'est plus utilisée et elle est remplacée par un système de facteurs de pondération définis pour six organes particuliers et par un facteur collectif (dont l'utilisation est cependant clarifiée) pour le restant. Cette approche constitue un progrès marquant pour tous les cas où l'incorporation de radioisotopes pouvait conduire à des doses pour plusieurs organes différents.

Tout ce qui est rappelé ci-dessus peut être introduit dans une version revue des normes de base 1976. Comme par ailleurs, les nouvelles recommandations de la CIPR ne modifient guère tout ce qui concerne les aspects

opérationnels de la radioprotection, l'enregistrement des doses, la classification des zones, la classifications des travailleurs, la surveillance médicale, et.., les chapitres correspondants des normes de 1976 pourront rester à peu près inchangés.

Il y a par contre des concepts nouveaux dans la Publication 26 dont l'introduction dans un document qui doit fixer les objectifs des réglementations nationales en matière de radioprotection présentera certaines difficultés et demandera beaucoup de prudence.

Il en est ainsi pour la comparaison des divers risques de la vie privée ou de la vie professionnelle, faite dans le but de fixer un nouveau de risque acceptable.

En effet, une société peut difficilement admettre de manière explicite, pour une activité déterminée, un risque que soit supérieur à ceux qui sont reconnus comme parmi les plus bas, dans la vie courante ou dans l'industrie.

Introduire dans une réglementation de l'énergie nucléaire, la référence à un nouveau de risque plus élevé semble ouvrir la voie à de grandes difficultés.

Dans la procédure d'optimisation, le choix du niveau de protection implique souvent la comparaison du coût des dispositifs supplémentaires, ou plus élaborés, à une valeur attribuée à la réduction de la dose collective que leur introduction permet d'obtenir. Il faudrait donc exprimer en termes monétaires le détriment relatif à l'homme-rem.

On peut se poser la question de savoir si cette possibilité existe actuellement et dans quelle mesure les milieux de la radioprotection sont préparés à appliquer de façon générale ces principes. Je crois personnellement que des études doivent encore être poursuivies et la Commission 'est d'ailleurs engagée dans cette voie.

En fait, le jugement qui permet d'évaluer le détriment présente une part de subjectivité et peut varier selon les cultures ou les types de société. Même si dans certains cas, les conclusions de l'étude d'optimisation ne changent pas si la valeur attribuée à l'homme-rem varie dans de très larges limites, cette procédure est difficile à transposer en termes réglementaires. Il faut également rappeler que la procédure d'optimisation est actuellement fondée sur une relation linéaire entre la dose et le détri-

ment, ce qui pourrait conduire à des difficultés si dans le futur, il peut être démontré que cette relation n'est pas linéaire dans certains cas, pour certains niveaux de dose, ou de débit de dose, etc. C'est la raison pour laquelle la Commission ne s'engagera pas dans une présentation à caractère réglementaire de ces deux principes, même s'ils sont importants pour évaluer la signification des limites de dose et pour l'organisation effective de la radioprotection.

Pour être complet, il faut parler des nouvelles unités introduites par l'application du système international. Le problème est d'ailleurs plus général et s'étend bien au-delà du domaine de la radioprotection. Le passage au "Gray" et au "Søvert" peut se faire progressivement sans difficultés majeures mais le remplacement du Curie et ses sous-multiples habituellement utilisés par le Becquerel présente un plus grand risque d'erreur par l'existence d'un facteur et d'exposants à deux chiffres.

En conclusion, pour éviter une double modification des réglementations nationales ou des discussions sur l'opportunité d'appliquer la directive de 1976, la Communauté s'est engagée à publier en temps utiles des normes révisées dans lesquelles elle aura fait passer certaines des nouvelles recommandations de la Publication 26 de la CIPR.

Les Etats membres auront alors le devoir d'y adapter leurs réglementations nationales dans un délai à fixer. Cette nouvelle réglementation va probablement imposer des devoirs plus étendus aux autorités compétentes car les procédures de justification et d'optimisation s'étendent à l'irradiation médicale, à l'emploi des matières radioactives dans les biens de consommation, à l'irradiation naturelle dans certains cas etc.

Tout cela nécessitera sûrement beaucoup de bon sens et de jugement professionnel et c'est pourquoi les normes de base soulignent à nouveau l'importance des chapitres relatifs à l'agrément des médecins et la qualification des experts.

Il faut être bien conscient que la radioprotection n'a pas terminé son évolution et qu'il faut rester attentif aux nouvelles connaissances, notamment en matière de radiobiologie et d'épidémiologie des groupes particuliers de la population exposés aux rayonnements ionisants.

RESUME

En 1976, la Commission des Communautés a publié une directive fixant les normes de bases révisées pour la radioprotection. La Publication 26 de la CIPR, parue en 1977, a introduit des changements notables dans les recommandations de cette Commission, qui ont conduit les experts des Communautés à revoir immédiatement les normes de 1976 : nouvelle définition des limites de dose, nouveau système de limitation des doses internes. Une grande partie des normes de base changera peu : aspects opérationnels, enregistrement des doses, classification des zones, classification des travailleurs, surveillance médicale.

Par contre, l'introduction des concepts de justification et d'optimisation dans un document qui fixera des objectifs aux règlements nationaux, présentera certaines difficultés. En effet, l'acceptabilité d'un risque déterminé, ou l'attribution d'une valeur monétaire à un certain détriment, ou à l'homme-rem, peuvent varier considérablement.

D'autre part, les procédures de justification et d'optimisation s'appliqueront à l'irradiation médicale, à l'emploi des matières radioactives dans les biens de consommation, à l'irradiation naturelle dans certains cas. Les devoirs imposés aux autorités seront donc étendus : la qualification professionnelle et l'expérience acquise auront donc une grande importance.

SAMENVATTING

In 1976 werden door de Commissie van de Europese Gemeenschap richtlijnen gepubliceerd die de gereviseerde basisnormen voor stralingsbescherming vaststelden. Door Publicatie 26 van ICRP, verschenen in 1977, werden aanzienlijke wijzigingen met betrekking op de reeds bestaande aanbevelingen van de laatstgenoemde Commissie ingevoerd. Hierdoor moesten de experts van de Gemeenschap aanstonds de normen van 1976 herzien : nieuwe bepaling van de dosislimieten, nieuw beperkingsstelsel voor de interne dosissen. Een groot gedeelte van de basisnormen zal echter weinig veranderen : operationele aspecten, registratie van de dosissen, classificatie van de zones, classificatie van de werknemers, medisch toezicht.

Daarentegen zal het invoeren van de begrippen rechtvaardiging en optimalisering in een document dat de doelstellingen aangeeft voor nationale reglementen, bepaalde moeilijkheden kunnen opleveren. Inderdaad, de aanvaardbaarheid van een bepaald risico, of de toekenning van een monetaire waarde aan een bepaald nadeel, of aan de man-rem, kunnen aanzienlijk verschillen.

Anderzijds zullen de begrippen rechtvaardiging en optimalisering van toepassing zijn voor medische bestraling, het gebruik van radioactieve stoffen bij verbruiksgoederen, en de natuurlijke bestraling in zekere gevallen. De opgelegde verplichtingen aan de autoriteiten zullen dus uitgebreid worden waarbij de beroepsbekwaamheid en de verkregen ervaring van groot belang zullen zijn.

SUMMARY

In 1976, the Commission of the Communities published a guiding-rule establishing the revised standards for radiation protection. The Publication 26 of ICRP, published in 1977, introduced significant changes in the recommendations of this Commission, leading the experts of the Communities into an immediate revision of the 1976 standards : new definition of the

dose limits, new system for the limitation of organ doses. A big part of the standards will remain almost unchanged : operational points of view, dose recording, classification of zones, classification of workers, medical surveillance.

However, the introduction of the justification and optimization concepts in a document defining the aims to be achieved by the national regulations, will be difficult. Indeed, the acceptability of a risk, or the attribution of a monetary value to a detriment, or to the man-rem, can vary considerably.

On the other hand, justification and optimization will also apply to the medical use of radiations, to the introduction of radioactive substances in consumer's goods, to the natural radiation in some cases. The duties of the authorities will thus be enlarged : professional judgment and acquired experience will have a big importance.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Jahre 1976 veröffentlichte die Kommission der Europäischen Gemeinschaften eine Leitlinie, in der revidierte Normen für Strahlenschutz aufgestellt wurden.

Die Veröffentlichung 26 der ICRP im Jahre 1977 führte bedeutende Veränderungen in den Empfehlungen dieser Kommission ein, die die Sachverständigen der Europäischen Gemeinschaften veranlaßte, die Normen des Jahres 1976 unverzüglich zu überarbeiten : neue Festlegung der zulässigen Strahlendosis, neues System der internen Strahlendosis. Ein Großer Teil der Normen wird beinahe unverändert bleiben : betriebliche Aspekte, Dosis Dokumentation, Klassifizierung der Zonen, Klassifizierung der Arbeiter, medizinische Kontrolle.

Die Einführung von Rechtfertigungs- und Optimisierungskonzepten in einem Dokument, das die durch nationale Vorschriften zu erreichenden Ziele definiert, wird jedoch schwierig sein. So kann die Akzeptanz eines Risikos, oder die Zuordnung eines Geldwertes zu einem Schadensfall oder zum Mann-rem wesentlich verschieden sein.

Andererseits wird die Vorgehensweise der Rechtfertigung und Optimierung ebenfalls auf den medizinischen Gebrauch von Strahlungen, auf die Anwendung von radioaktiven Substanzen in Gebrauchsgütern und in einigen Fällen sogar auf die natürliche Strahlung Anwendung finden.

Die den Behörden auferlegten Aufgaben werden dementsprechend erweitert : die berufliche Qualifikation und die erworbene Erfahrung werden von großer Bedeutung sein.

IXè CONGRES INTERNATIONAL DE LA SOCIETE FRANCAISE DE RADIOPROTECTION SUR LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS NON IONISANTS. LEUR UTILISATION ET LEURS RISQUES ASSOCIES.

NAINVILLE-LES-ROCHES, 22 - 26 MAI 1978.

J. GARSOU, Dr. Sc.

Agrégé de l'Enseignement Supérieur

Service Universitaire de Contrôle Physique des Radiations

Hôpital de Bavière, Liège.

Cette réunion a tendu vers une mise au point de l'état actuel de nos connaissances des mécanismes d'action des infra-rouges, ultra-sons, micro-onde, laser et ultra-violets ainsi que des lésions ou dommages pouvant être provoqués par ces radiations. Les nouveaux seuils de ces rayonnements ont été discutés.

Le champ d'intérêt et d'action des radioprotectionnistes s'étend progressivement des radiations ionisantes aux autres types de radiations, soit électromagnétiques : hautes fréquences, micro-ondes, infra-rouges et ultra-violets, soit ondes acoustiques.

Il était temps de situer l'état d'avancement de nos connaissances dans ces nouveaux domaines. Alors que les rayonnements non ionisants reçoivent des applications de plus en plus fréquentes, il s'agissait de préciser nos connaissances de leurs modes d'action.

La Société Française de Radioprotection doit être félicitée d'avoir pris l'initiative de ces journées d'étude : des orateurs éminents ont, en quelques exposés, soit apporté une clarification des idées, soit cerné les problèmes en suspens.

1. Infra-rouges

Les effets des infra-rouges sont introduits par S. Despres; effets nocifs limités à la peau et aux yeux, dont la protection peut être assurée, d'une part, par le port de vêtements (de toile d'amiante, surtout) et la ventilation des lieux de travail, d'autre part, par des verres filtrants spéciaux.

M. Jaymes et R. Dufour présentent respectivement le four solaire utilisé à Arcueil pour l'étude de l'apparition des brûlures et une étude comparative, sur le porcelet, des brûlures provoquées par radiations ou par conduction, étude montrant que les mécanismes sont différents.

D. Balageas et coll. décrivent une méthode de caractérisation atraumatique des tissus présentant des lésions thermiques peu profondes (moins de 10 mm) par la mesure de l'effusion thermique grâce à une sonde-stylo appliquée sur ces tissus.

2. Ultra-sons

P. QUandieu précise en une large introduction les diverses propriétés physiques et les différents modes connus d'interaction des ultra-sons : s'il est presque certain que l'innocuité mécanique de ces vibrations sera prouvée, dans la gamme des intensités utilisées en médecine, une étude plus développée se recommande des incidences négatives éventuelles dans leur emploi au long cours.

P.A. Lewin définit un modèle mathématique pour l'étude de l'effet sur les systèmes biologiques des vibrations non linéaires des bulles gazeuses : ces bulles représentent des inhomogénéités pouvant induire, sous irradiation ultra-sonore, des effets tels que microcourants, accroissement local des contraintes de cisaillement susceptibles d'endommager la membrane cellulaire.

M.L. Gaulard et coll. signalent, dans le cas de l'inhibition de l'activité d'enzymes coagulants, le rôle primordial de l'intensité ultra-sonore. L'activité de la chymosine baisse avec la durée de l'irradiation et la dilution de la solution; un milieu tamponné-à p_H 6,0 ou la présence de protéines exerce un effet protecteur. La production d' H_2O_2 augmente avec l'irradiation mais ne paraît pas engendrer d'effet destructeur. Les enzymes fongiques sont les plus résistants.

M. Marble et coll. étudient la sécurité d'emploi d'un détecteur ultra-sonore Döppler de bulles dans le sang circulant de l'organisme en hyperbarie.

3. Micro-ondes

M. Servantié commence son introduction générale en délimitant les domaines de densité de puissance moyenne incidente et de durée d'exposition

pour lesquels un effet spécifique et l'absence d'un tel effet ont été observés. Alors qu'aucune théorie n'explique l'action de ces rayonnements, l'auteur s'attache à décrire les effets sur le système nerveux central et rappelle brièvement la possibilité d'induire la cataracte compte tenu de la précision de la dosimétrie particulièrement difficile; il convient d'abaisser d'un facteur 10 les niveaux admissibles de densité de puissance.

G. Plurien et coll. rapportent que l'exposition de rats nouveaux-nés placés pendant 1, 2 et 3 semaines dans le champ d'un émetteur radar de 3 GHz pulsé, n'altère ni le poids de leur corps ni celui de leur hypophyse mais diminue significativement celui de leurs surrénales ou de leurs gonades. Une simple perturbation à la naissance se répercute donc à l'âge adulte.

M.J. Klein et C.L. Milhaud montrent que les micro-ondes n'ont pas d'effets sur le système nerveux des primates alors que le contraire semble se vérifier sur le rat et la souris.

P. Deschaux et coll. décrivent l'effet sur l'axe hypophysotesticulaire du rat blanc, d'une exposition dans un four à micro-ondes : le taux d'androgène circulant est passagèrement perturbé.

J.C. Dumas et coll. signalent que l'effet sur le métabolisme lipidique varie d'une souche de souris à l'autre. Il s'y ajoute des variations de sensibilité individuelles importantes.

Les auteurs concluent à la difficulté de définir des valeurs-seuils de sensibilité.

Mme M. Dardahlon et D. Averbek testent un ralentissement de la croissance bactérienne sous micro-ondes. Ils n'observent pas d'effet létal ou mutagène. Les micro-ondes en interaction avec les rayons X induisent des variations irrégulières dans la survie des souches d'E. Coli ou de *Saccharomyces cerevisiae*.

Les micro-ondes en interaction avec les rayons X ou les rayons ultraviolets influencent la survie, l'induction de la recombinaison mitotique ou de la mutation cytoplasmique chez une souche diploïde de levure alors que l'action des micro-ondes seules est nulle. Chez la drosophile, la fertilité est fortement stimulée sans augmentation de la létalité et

sans effet tératologique.

Y. Tchao décrit des effets biologiques spécifiques, les champs pulsés étant plus néfastes sur le système nerveux.

M.M. Zaret rapporte une série de lésions cliniques et expérimentales provoquées sur l'homme par des rayonnements non ionisants.

J.P. Vautrin et coll. rappellent le prodigieux développement des générateurs de radio et hyperfréquences dont la puissance globale installée est passée, à 3 GHz, de 40 kW en 1960 à 10 MW en 1970. Actuellement, le champ à proximité des fours micro-ondes et des générateurs HF pour soudage de PVC dépasse parfois la valeur-seuil américaine.

4. Laser

MM. Court, Chevalereaud et Santucci précisent que les normes de protection dépendent du type physique de laser, de l'intensité des faisceaux et des critères de lésions. Les effets biologiques sont fonction de l'énergie de l'émission, de la durée de l'impulsion, de la fréquence de répétition du train d'ondes, de la fréquence et de la stabilité énergétique de l'émission.

Le mécanisme de dépôt d'énergie absorbée ou dissipée dans une zone très restreinte est peu connu : il est lié à la modification du champ électromagnétique en grande partie masqué par les effets thermiques et se traduit par la production de radicaux libres. Les effets mécaniques varient selon le type, continu ou pulsé, de laser; ils sont liés à l'onde de choc : l'augmentation de pression qui se propage dans les structures est suivie d'ébranlement de ces structures; ils sont donc fonction de l'histologie ou de la disposition du tissu. Les effets thermiques comprennent l'absorption d'énergie à une longueur d'onde donnée et sa diffusion par des organites ainsi que sa dissipation liée à la diffusion thermique ou à la vitesse de circulation d'un vecteur. Les lésions varient donc en fonction de la longueur d'onde et du type de cellules : lésions oculaires (de la cornée, du cristallin, de l'iris, de la rétine) ou cutanées. A noter que certains lasers en visible peuvent donner lieu à des résonances ç certaines longueurs d'onde.

G. Gaussorgues parle des problèmes liés à l'utilisation du rayonnement laser et en déduit les précautions générales à appliquer à toute instal-

lation laser.

M. Brennan rapporte que, de l'ultra-violet à l'infra-rouge, d'après la longueur d'onde, le laser exerce une action sélective sur les différentes couches cellulaires de l'oeil; l'ultra-violet limite généralement son action aux couches extérieures. L'étude de la rétine par angiographie à la fluorescence révèle des lésions infracliniques.

Mr. Rocherolles expose que les effets spécifiques du laser tiennent à la grande puissance disponible (de quelques kW en lumière continue à des TW en impulsion; dans tous les cas, la cible est volatilisée et son refroidissement impossible), à la fréquence ou à l'intervalle étroit de fréquence, rendant possibles des résonances, à la géométrie parallèle du faisceau permettant la concentration d'une énergie en un volume très faible.

L'auteur décrit les effets par ordre croissant d'énergie.

J.C. Griesemann et J. Marti s'attaquent aux problèmes de sécurité.

5. Ultra-violets

Le Professeur Latarjet rappelle que les problèmes de l'utilisation des ultra-violets sont nés dans les applications thérapeutiques contre la tuberculose, le lupus, le rachitisme. Les recherches de phytobiologie cellulaire ont fait remarquer la superposition du spectre d'efficacité pour l'inactivation du staphylocoque et du spectre d'absorption des acides nucléiques.

Dès 1935, les travaux de l'auteur mettent en lumière l'importance de l'effet d'écran de l'ozone atmosphérique. La dosimétrie de l'ultra-violet se complique du fait que l'absorption s'effectue en couche très mince sans qu'on connaisse de matière équivalent-tissu et que chaque radiation doit être pondérée d'un facteur d'efficacité monochromatique. La cancérogénèse de la peau par ultra-violet présente un mécanisme peu connu et les études épidémiologiques sont loin de l'éclairer entièrement.

M. Chavaudra précise le rôle joué par l'ozone atmosphérique dont la teneur est susceptible de diminuer par l'effet de NO_2 produit par les jets, les engrais azotés, le chlorométhane et les fréons : une diminution de 5 % de la concentration atmosphérique d' O_3 peut entraîner un accroissement de 10 % de la écrythémaie et cancérogène et une diminution de 1 %

de cette teneur d' O_3 , un supplément annuel de 350 à 1100 concentrations pouvant entraîner de 5 à 15 morts de plus. Cette réduction de 1% de la teneur atmosphérique d' O_3 pourrait être obtenue avec les réacteurs actuels par 500 Concorde volant sept heures par jours aux altitudes importantes. Il est à remarquer que la couche d' O_3 n'aurait guère varié durant ces cinquante dernières années.

M. Hoikkala et J. Tuunanen décrivent un détecteur de rayonnement ultra-violet et son utilisation pour l'évaluation de risques professionnels.

A. Mayer et S. Salsi rapportent leurs résultats d'étude des niveaux de rayonnement ultra-violet, visible et infra-rouge à différents postes de travail. 2 à 5 % des ultra-violets atteignent la rétine et 250 μW suffisent pour provoquer des lésions. Dans le cas des irradiations mixtes, une partie de l'effet des ultra-violets est restauré par des ultra-violets de grande longueur d'onde ou par des photons visibles et le rayonnement solaire comporte de fortes composantes réparatrices.

Le Général Médecin Perdriel présente les conclusions.

Les lésions sur l'organisme humain montrent une action de rayonnements non ionisants sur les organes sensoriels et, en particulier, sur le système nerveux central. Les lésions organiques sont évidentes même si elles sont parfois difficiles à mettre en évidence clinique. L'effet du radar est à discuter. Les moyens d'études sont en progrès et les paramètres doivent être précisés. Des animaux d'expérience s'imposent et l'exploration histoclinique doit être poussée, ainsi que l'étude classique statistique. La dosimétrie est parfois compliquée (aisée en infra-rouge, relativement compliquée pour le laser, difficile en ultra-violet et ardue en radar) et les détecteurs pratiques deviennent intéressants. Nous disposons d'hypothèses pathogéniques : cancérogénèse en ultra-violet, à discuter pour ce qui regarde le radar et les ultra-sons. Les seuils (tolérance, nocivité) à recommander sont parfois difficiles à préciser : une collaboration pluridisciplinaire s'impose. L'expression des densités d'énergie doit être uniformisée. La protection de la nature demande à être réalisée en ce qui regarde par exemple la teneur atmosphérique d'ozone, la texture des matériaux entourant les stations radar, l'importance des surfaces bétonnées réfléchissant le rayonnement infra-rouge près des bâtiments. La protection collective doit s'affirmer par une information

du public, par une formation adéquate des travailleurs. La protection individuelle requiert un contrôle de l'efficacité des moyens en fonction de la charge de travail.