

La publication 26 de la C.I.P.R. et l'expression quantitative des risques dus aux rayonnements ionisants

M. DOUSSET

(*manuscrit reçu le 8 mai 1980*)

RÉSUMÉ

Les principes et le formalisme qui permettent de définir la notion d'équivalent de dose effectif et sa relation à faible dose avec le détriment éventuel pour la santé sont très succinctement exposés. Un exemple pratique portant sur l'ingestion de ruthénium-106 est traité.

On insiste tout particulièrement sur le fait que la notion d'équivalent de dose effectif permet de comparer entre elles des modalités différentes d'exposition comme, par exemple, une irradiation externe entraînant un équivalent de dose uniforme pour tous les organes et une contamination interne avec répartition très hétérogène des équivalents de dose.

ABSTRACT

A short review is made of the principles and concepts allowing to define the effective dose equivalent and its possible relationship with the health detriment from low-level doses. A practical application is given with the ingestion of ruthenium 106 as an example.

The emphasis is laid on the fact that the effective dose equivalent makes it possible to compare different ways of exposures such as an external exposure delivering a uniform dose equivalent to all the organs and an internal contamination with a highly unhomogeneous distribution of the dose equivalents.

En commentant les idées nouvelles contenues dans la publication 26 de la C.I.P.R. (1977) [1] on a beaucoup insisté sur l'analyse des principes fondamentaux de la protection contre les rayonnements ionisants et sur l'ordre hiérarchique qu'elle a très fortement voulu marquer entre les différents impératifs : justification de l'action, optimisation de la protection, limites d'équivalent de dose pour les individus. Ces principes, cependant, ne sont pas à proprement parler nouveaux et, si la publication 26 leur donne un

relief tout particulier en insistant sur la prééminence de l'optimisation sur l'application des limites individuelles, il ne faut pas oublier que ces contraintes faisaient déjà l'objet, d'une façon plus ou moins explicite, des recommandations antérieures et tout particulièrement de celles publiées en 1966 (publication 9) [2].

Ce qui, par contre, est radicalement nouveau dans la publication 26 c'est la mise au point d'une expression quantitative du risque éventuel lié aux effets à long terme des rayonnements ionisants sur l'organisme humain.

On savait depuis longtemps qu'à faible dose certains effets pathologiques des rayonnements comme l'érythème, la radiodermite, le syndrome hémathologique, etc. ne se manifestaient jamais et que seul devait être pris en compte le risque éventuel d'apparition des effets dits « stochastiques » ou « aléatoires » (leucémie, cancers, effets génétiques). Ces effets ne sont pas spécifiques de l'action des rayonnements; le tabac, les hydrocarbures polycycliques, certains métaux présents dans les poussières industrielles, dans les produits de combustion des combustibles fossiles, etc. peuvent les provoquer. Ce sont, tous, des effets à long terme et on sait qu'en l'absence de tout agent cancérigène ou mutagène connu, ce sont des affections qui se manifestent à l'état naturel avec une certaine fréquence.

Dans les échantillons, toujours limités en nombre, que l'on peut observer, la fréquence naturelle peut prendre toute une série de valeurs aléatoires comprises dans une certaine marge d'incertitude que la loi de Poisson permet de calculer; lorsque l'échantillon est soumis à l'action d'un agent nocif présent en petite quantité, l'effet peut être suffisamment faible pour être *noyé* dans cette marge d'incertitude. Dès lors, l'impossibilité de mettre en évidence, à faible dose, une augmentation significative du nombre de cas observés par rapport à la fréquence naturelle n'est pas une raison suffisante pour conclure à l'existence d'un seuil.

La prudence exige donc que, pour fixer les règles de protection, on admette l'hypothèse que toute augmentation de la dose reçue, si faible soit-elle, entraîne une certaine augmentation de la probabilité d'apparition de ces effets. C'est l'hypothèse retenue par la C.I.P.R.

Les progrès considérables qui ont été réalisés au cours des vingt dernières années dans la connaissance des lois qui régissent l'incidence des effets pathologiques de ce type [3-4] ont permis d'évaluer quantitativement l'ordre de grandeur du risque ou, plus exactement, du *détriment pour la santé* ⁽¹⁾ que pourrait entraîner éventuellement (s'il n'y a pas de seuil) l'exposition à faible dose de tel ou tel tissu ou organe.

Comme toutes les autres institutions compétentes en ce domaine : B.E.I.R., U.N.S.C.E.A.R. [5-6]..., la C.I.P.R. a admis que ce *détriment* éventuel pouvait s'exprimer, à faible dose, par une fonction linéaire et sans seuil de

(¹) Le *détriment pour la santé* est, pour un effet pathologique donné, le produit de la probabilité d'apparition de cet effet par un facteur de pondération exprimant sa gravité.

l'équivalent de dose reçu ou engagé ⁽²⁾ au niveau de l'organe ou du tissu (T). En choisissant convenablement la pente de la droite pour les rayonnements à faible transfert linéique d'énergie (TLE) comme les rayonnements X, γ , β , et les valeurs du facteur de qualité (Q) qui entre dans la définition de l'équivalent de dose, pour les rayonnements à fort TLE, comme les neutrons ou les rayons α , la limite supérieure du détriment pour le tissu T est alors donnée par la relation :

$$G_T = k_T H_T,$$

k_T étant la pente de la droite, appelé aussi facteur de risque; H_T étant l'équivalent de dose reçu ou engagé au niveau du tissu T .

D'autre part, les informations acquises ont également conduit à penser que le détriment total pour l'individu pouvait, en première approximation, être correctement exprimé par la somme des détriments partiels liés à l'exposition, plus ou moins hétérogène, des différents organes ou tissus de l'organisme. On peut donc écrire pour le détriment total :

$$G_{\text{total}}^{\text{hétéro}} = \sum_T k_T H_T.$$

Si l'on se place dans le cas particulier d'une exposition uniforme de tout l'organisme, tous les organes ou tissus recevant un même équivalent de dose H , et que l'on se propose de calculer la valeur H_E de cet équivalent de dose pour laquelle le détriment G_{total} est le même que pour l'exposition hétérogène des tissus, on a :

$$G_{\text{total}}^{\text{unif}} = H_E \sum_T k_T$$

et si $G_{\text{total}}^{\text{unif}} = G_{\text{total}}^{\text{hétéro}}$:

$$H_E \sum_T k_T = \sum_T k_T H_T,$$

d'où :

$$H_E = \frac{\sum_T k_T H_T}{\sum_T k_T} = \sum_T \frac{k_T}{\sum_T k_T} H_T,$$

que l'on écrit :

$$H_E = \sum_T W_T H_T,$$

W_T représente les facteurs de pondération affectant les équivalents de dose reçus ou engagés au niveau des divers tissus. Le tableau I donne les valeurs de k_T et W_T .

(2) Dans le cas de la contamination interne après incorporation d'un radionucléide, on appelle équivalent de dose engagé au niveau d'un tissu donné, l'intégrale calculée jusqu'à la fin de la vie (pour l'exposition professionnelle, on la calcule sur 50 ans) du débit d'équivalent de dose délivré à ce tissu par les rayonnements émis par ce radionucléide.

H_E est appelé *équivalent de dose effectif*. Le détriment total pour l'individu est directement proportionnelle à sa valeur :

$$G_{\text{total}} = H_E \sum_T k_T.$$

L'un des avantages immédiats de cette façon très rationnelle d'évaluer le détriment pour l'individu est son universalité. Elle peut s'appliquer à toutes les expositions de l'organisme : irradiation externe totale ou partielle, contamination interne, contamination cutanée. L'irradiation de chaque organe ou tissu est prise en compte avec son facteur de risque propre.

Dès lors, il est possible de comparer une irradiation plus ou moins partielle qui résulte de l'ingestion ou de l'inhalation d'un radionucléide donné avec l'irradiation uniforme de l'organisme résultant, par exemple, d'une irradiation externe par des rayonnements pénétrants, comme les rayonnements γ de la composante tellurique de l'irradiation naturelle.

Pour donner un exemple, qui a quelque relation avec l'actualité, on peut calculer l'équivalent de dose effectif qui résulterait de l'ingestion de $1 \mu\text{Ci}$ ($3,7 \cdot 10^4 \text{ Bq}$) de ruthénium-106, produit de fission que l'on trouve dans les rejets liquides des usines de retraitement de combustibles irradiés.

TABLEAU I

	k_T détriment par rem	W_T pour une exposition uniforme
Gonades.....	$0,40 \cdot 10^{-4}$	$W_1 = 0,25$
Seins.....	$0,25 \cdot 10^{-4}$	$W_2 = 0,15$
Moelle osseuse rouge.....	$0,20 \cdot 10^{-4}$	$W_3 = 0,12$
Poumon.....	$0,20 \cdot 10^{-4}$	$W_4 = 0,12$
Thyroïde.....	$0,05 \cdot 10^{-4}$	$W_5 = 0,03$
Os (cellules endostéales).....	$0,05 \cdot 10^{-4}$	$W_6 = 0,03$
Les cinq autres tissus les plus irradiés (*).....	$0,50 \cdot 10^{-4}$	$W_7 = 0,30$
	$1,65 \cdot 10^{-4}$	1,00

(*) A l'exclusion des mains et avant-bras, des pieds et chevilles, de la peau et du cristallin pour lesquels les effets à prendre en compte sont, dans les cas les plus courants, des effets non stochastiques.

Les éléments du calcul sont rassemblés dans le tableau II qui, pour l'ingestion de $1 \mu\text{Ci}$ de ^{106}Ru , donne les équivalents de dose engagés au niveau des différents organes [7] et les équivalents de dose pondérés correspondants.

TABLEAU II

Tissus	W_T	H_T (mrem)	$W_T H_T$ (mrempondérés)
Gonades.....	0,25	8,95	2,24
Seins.....	0,15	0,21	0,03
Moelle osseuse rouge.....	0,12	8,31	0,99
Poumons.....	0,12	0,21	0,02
Thyroïde.....	0,03	8,06	0,24
Cellules endostéales.....	0,03	9,57	0,29
Les cinq autres tissus les plus irradiés :			
Gros intestin inférieur.....	0,06	260,00	15,60
Gros intestin supérieur.....	0,06	87,32	5,24
Estomac.....	0,06	15,57	0,93
Pancréas.....	0,06	8,29	0,50
Foie.....	0,06	8,26	0,49
			26,57

L'équivalent de dose effectif est égal à 27 mrem. Le détrimement éventuel résultant de l'ingestion de 1 μ Ci de ruthénium-106 est donc le même que celui qui résulterait d'un accroissement de l'équivalent de dose reçu au niveau de l'ensemble de l'organisme de 27 mrem. Or, des mesures récentes faites en région parisienne ont montré, en deux points d'une même commune situés à 1 000 m environ l'un de l'autre, une différence de 34 mrem par an pour l'équivalent de dose dû à la composante tellurique de l'irradiation naturelle. Ce sont là des différences de dose dont on fait évidemment peu de cas dans la vie courante, même lorsqu'on en est conscient.

Cet exemple montre comment il est possible, avec le formalisme qui découle des principes de la C.I.P.R., d'apprécier l'importance exacte que peut avoir l'incorporation d'une certaine activité d'un radionucléide donné. Une telle réflexion devrait nous conduire à adopter des comportements cohérents en face de deux situations qui comportent les mêmes risques éventuels.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] International commission on radiological protection (I.C.R.P.). Recommendations, *I.C.R.P. Publication 26*, Oxford, Pergamon press, 1977 (traduction française : Oxford, Pergamon press, 1980).
- [2] International commission on radiological protection (I.C.R.P.). Recommendations, *I.C.R.P. Publication 9*, Oxford, Pergamon press, 1966 (traduction française : Fontenay-aux-Roses, C.E.A., Département de protection).

- [3] POCHIN E. E. *Why be quantitative about radiation risk estimates?* Washington, N.C.R.P., 1978.
- [4] International commission on radiological protection (I.C.R.P.). Problems involved in developing an index of harm, *I.C.R.P. Publication 27*, Oxford, Pergamon press, 1978.
- [5] États-Unis. National Academy of Sciences, National research council. *The effects on population of exposure to low-levels of ionizing radiation*, Report of the Advisory committee on the biological effects of ionizing radiation, B.E.I.R. Report, Washington, National Academy of Sciences, 1972.
- [6] United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation. *Sources and effects of ionizing radiation*, 1977 Report to the General Assembly with annexes, New York, United Nations, 1977.
- [7] KILLOUGH G. G. *et al. Estimates of internal dose equivalent to 22 target organs for radionuclides occurring in routine releases from nuclear fuel-cycle facilities*, Oak Ridge National Laboratory, Report ORNL/NUREG/TM-190, vol. 1, 1978.