

## **Effets à long terme des faibles doses de rayonnements ionisants sur les travailleurs et sur la population**

**Alice M. STEWART**

Cancer Epidemiology Research Unit, Department of Social Medicine, University of Birmingham

### RESUME

L'étude de "Hanford" est devenue une source d'évaluations des risques qui peut être adaptée aux situations réelles de la vie, parce que ces évaluations tiennent compte des effets du vieillissement de la personne, et du caractère latent du cancer. D'autre part, on est parvenu à mettre en évidence une relation dose-effet ("dose response") dont les conséquences sont importantes en ce qui concerne le stockage de déchets radioactifs, ou les défectuosités de réacteurs d'une ampleur comparable à celles qui se sont produites dans l'accident de Three Mile Island.

### MOTS CLES

épidémiologie, cancer, rayonnement/radiation.

La Commission Internationale de Protection contre les Radiations (ICRP) émet des recommandations sur les niveaux de tolérance des doses, et secondairement donne une évaluation des risques courus par les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, et des degrés de sensibilité des tissus<sup>1,2</sup>. Les premières sources d'estimations et de calculs sont d'une part les expériences faites sur des animaux, et d'autre part les études portant sur des êtres humains, notamment celles qui ont été poursuivies d'une manière durable sur des personnes qui étaient encore vivantes en octobre 1950 après avoir subi les bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki. Il s'agit de données désignées par le sigle ABCC parce qu'elles proviennent d'une vaste étude sur la longévité que patronna en premier lieu l'"Atomic Bomb Casualty Commission". Cette étude a porté sur les 80 000 survivants d'une population totale de 285 000 personnes, lesquels ont pu être identifiés grâce aux données du recensement de 1950 au Japon.

Les analystes des données japonaises<sup>3</sup> sont parvenus, d'une manière répétée, aux conclusions suivantes :

- i) le seul effet "différé" du rayonnement de la bombe atomique observé chez l'être humain a été le cancer;
- ii) l'effet principal et le premier qui se soit manifesté chez les survivants, au bout de 5 ans, a été la leucémie myéloïde;
- iii) depuis le recensement de 1950, plus de 99% des décès ont été imputés à des causes naturelles (Tableau 1).

Ces conclusions sont en assez bon accord avec celles qui sont fondées sur les expérimentations animales et sur l'observation de patients en radiothérapie. En conséquence, bien que beaucoup de scientifiques soient d'avis qu'une extrapolation linéaire des observations d'irradiation à forte dose exagère les risques d'induction du cancer liés aux faibles doses (hypothèse de seuil), l'ICRP et d'autres organismes responsables d'évaluations ont toujours établi une équivalence entre les risques courus par les travailleurs exposés aux radiations et par la population en général, et les risques déterminés<sup>1,2,5</sup> par les études de mortalité des survivants de la bombe atomique.

TABLEAU 1 : Données ABCC - 8ème Rapport sur la mortalité<sup>1)</sup>

<u>POPULATION REPRESENTATIVE</u>	Toutes les personnes vivant encore 5 ans après l'explosion, c'est-à-dire 285 000 personnes, après avoir reçu une dose moyenne de 16,6 rads																
<u>OBSERVATION EFFECTIVE</u>	Décès pendant la période 1950-74 : 79 786 personnes atteintes de doses T65																
<u>METHODOLOGIE</u>	Analyse des risques relatifs Compte tenu du sexe, de l'âge auquel l'exposition a été subie, et de la ville																
<u>CONCLUSIONS</u>	A part le cancer, pas d'autre effet du rayonnement ionisant																
<u>ESTIMATION DES RISQUES</u>	<p>Décès pendant la période 1950-74 : Nombre : % : Décès excédentaires</p> <table> <tbody> <tr> <td>Radioinduction :</td> <td>:</td> <td>:</td> <td>:</td> </tr> <tr> <td>Leucémies :</td> <td>192:0,3)</td> <td>:</td> <td>415</td> </tr> <tr> <td>Tumeurs solides :</td> <td>213:0,3)</td> <td>:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Causes naturelles:</td> <td>70 000:99,4:</td> <td>:</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Radioinduction :	:	:	:	Leucémies :	192:0,3)	:	415	Tumeurs solides :	213:0,3)	:		Causes naturelles:	70 000:99,4:	:	0
Radioinduction :	:	:	:														
Leucémies :	192:0,3)	:	415														
Tumeurs solides :	213:0,3)	:															
Causes naturelles:	70 000:99,4:	:	0														

1) Cf. Référence 3

Jusqu'à une époque toute récente, la seule raison de mettre en doute la validité générale des évaluations ABCC résidait<sup>6</sup> dans les conclusions négatives relatives aux expositions in utero qui contrastaient étrangement avec les conclusions positives concernant l'irradiation foetale dans d'autres populations. Aujourd'hui, ces raisons de douter sont confirmées par les conclusions d'une étude effectuée sur des travailleurs de l'industrie nucléaire. Cette dernière étude qui est devenue une source d'estimations des risques concordant étroitement avec les conclusions générales relatives à l'irradiation foetale, donne par conséquent un ordre de grandeur de risque supérieur aux estimations ABCC (cf. les analyses MSK des données Hanford, tableau 2).

TABLEAU 2 : Analyses MSK des données Hanford

Analyses MSK	Rapports publiés	Année	Base de données
I	Symposium HPS (Saratoga Springs)	1976	décès 1944-72
	Health Physics	1977	
II	Proceedings de l'AIEA (Vienne)	1978	décès 1944-77
	Ambio	1980	
III	Brit. J. Industrial Med.	1981	Main d'œuvre 1944-75 et décès 1944-77

MSK : Mancuso, Stewart & Kneale

HPS : Health Physics Society

AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique (ONU)

La première série d'estimations de Mancuso, Stewart & Kneale (MSK) était fondée sur une dose comparative moyenne (DMC)\*. Leurs estimations procédaient ainsi de l'analyse d'une DMC calculée sur la base des doses d'irradiation annuelles reçues par des travailleurs décédés au cours des 28 ans qui se sont écoulés depuis que l'usine de Hanford est devenue un producteur commercial de plutonium et d'autres substances radioactives (les observations portent sur les décès survenus entre 1944 et 1972 au sein des mêmes effectifs de travailleurs<sup>9,10</sup>). Cette analyse préliminaire conduit aux conclusions suivantes :

- il existe un effet des rayonnements dans trois sièges de cancer : la moëlle osseuse, le pancréas, le poumon (les constatations sont analogues mais moins définitives en ce qui concerne le cancer du sein);

\* appelée également "dose individuelle moyenne"

ii) on observe une sensibilité des tissus (à la radio-induction du cancer) relativement plus faible chez les sujets jeunes; et

iii) il est prouvé qu'il s'écoule de longs intervalles de temps entre l'induction du cancer et le décès (effet de latence du cancer).

Les principales conclusions ont été que (si l'on admet la linéarité de la courbe dose-effet) moins de 20 rads seraient suffisants pour doubler le risque normal de mort par cancer (il s'agit de ce qu'il est convenu d'appeler la "dose de doublement" qui est une mesure du risque relatif), tandis que moins de 2 rads pourraient avoir le même effet sur un tissu exceptionnellement sensible, tel que la moëlle osseuse (cf. Tableau 3).

TABLEAU 3 : Premières estimations MSK des risques de cancer <sup>1)</sup>

	MSK I <sup>2)</sup>		MSK II		
Siège du cancer	Nbre de cas	Dose de doublemt <sup>3)</sup>	Nbre de cas	Dose de doublemt	Bornes de confiance à 95%
Moëlle osseuse	11	0,8	25	3,6	<u>1,7-10,3</u>
Moëlle et ganglions lymphatiques	64	2,5	-	-	- -
Pancréas	49	7,4	-	-	- -
Pancréas, estomac et gros intestin	-	-	165	15,6	<u>7,3-55,0</u>
Poumon	192	6,1	215	13,7	<u>7,3-28,7</u>
Groupe "A"	-	-	456	13,9	<u>8,4-21,2</u>
Tous les sièges	670	12,2	743	33,7	<u>15,2-79,2</u>

1) cf. Références 10 et 11

2) Il s'agit de surestimations du risque dues à l'inclusion accidentelle de personnes non soumises aux contrôles parmi les doses nulles.

3) Dose de doublement (ou dose doublante) : quantité d'irradiation nécessaire pour doubler exactement le risque normal (ce qui revient à dire que plus la dose doublante est faible, plus le risque est élevé).

\* appelée également "dose doublante"

Il ressort clairement des rapports que le nombre des décès par cancer n'a pas été suffisant pour permettre d'approfondir le problème de la sensibilité relative des différents tissus. De plus, une analyse comportant une référence à des titrages biologiques (c'est-à-dire à des tests de routine pour la détection de dépôts internes de substances radioactives) a mis en évidence - entre des travailleurs vivants et des travailleurs décédés - des différences révélatrices d'un recrutement sélectif de personnes exceptionnellement robustes et adaptées à des occupations réellement dangereuses (effet du travailleur "en bonne santé"). On s'est donc rapidement rendu compte du fait que toute évaluation du risque basée sur l'étude de cohortes serait trompeuse, à moins d'un contrôle adéquat de ce facteur difficile à saisir.

Après la publication de l'article dans "Health Physics", il a été découvert que parmi les travailleurs qui n'avaient pas été irradiés, (ou plutôt qui avaient été classés dans la catégorie des doses d'irradiation nulles), se trouvaient des personnes qui en réalité n'avaient jamais subis d'examen de dépistage d'irradiation externe. Compte tenu du fait que de toute évidence divers aspects de l'analyse préliminaire avaient été mal compris et qu'elle avait rencontré une très mauvaise presse, les auteurs se sont empressés de reprendre aussitôt que possible l'analyse sur la base de la DMC. Cette analyse a donc été répétée sur une plus grande série de décès (c'est-à-dire ceux survenus entre 1944 et 1977 au sein des effectifs 1944-75 de la main d'œuvre). Après avoir commencé par justifier leur méthode, ils ont pris soin d'exclure de leurs calculs tous les travailleurs qui n'avaient jamais été porteurs de films de contrôle (badges).

Le problème de savoir comment on peut tenir compte de l'effet du travailleur "en bonne santé" (c'est-à-dire de constitution résistante) sans recourir à des résultats de titrages biologiques n'est pas encore résolu. De toute façon, il s'avéra que la plupart des critiques des premiers articles se trouvaient sans fondement. Les articles ultérieurs ont d'ailleurs aussi montré qu'un petit nombre de problèmes encore en suspens pourraient être résolus en combinant la classification (anatomique) usuelle des cancers avec les degrés de sensibilité des tissus établis par l'ICRP (Tableau 4).

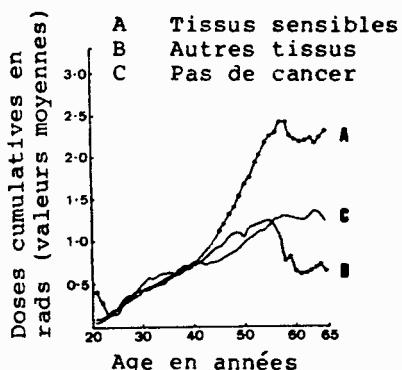
TABLEAU 4 : spécification des cancers A et B

Groupe	Tissus <sup>1)</sup>	Nos CIM <sup>*</sup> 8ème révision	Nbre de cas	
			Sexe masc.	Sexe fém.
Cancers A	Pharynx	145-149	10	-
	Digestif	150-159	201	19
	(tissus Respiratoire	160-163	215	10
	sensibles) Sein (Femme)	174	-	19
	Thyroïde	193	1	-
	Hémopoïétique	200-209	76	10
Nos restants				
Cancers B	Autres sièges	199	28	
(autres tissus)	Autres non spécifiés	41	3	

1) Cf. Références 2 et 22

\* Classification internationale des maladies

Ce regroupement des décès dus au cancer a une portée directe sur le problème des risques de cancer radioinduit; il permit de travailler avec seulement deux groupes de diagnostics, à savoir les cancers de tissus qui étaient reconnus comme sensibles au rayonnement ionisant ou soupçonnés de l'être (Groupe A), et les cancers d'autres tissus ou sièges non spécifiés (Groupe B). Un résultat supplémentaire de ce regroupement fut de découvrir une erreur dans la notification des cas de cancers signalés dans les catégories d'âge plus avancé, par le fait que pour ces catégories le groupe de cancers B apparaît plus impliqué que le groupe des cancers A. (Figure 1)



Influence de l'âge sur l'induction des différents types de cancer en fonction des doses cumulatives pour trois groupes de travailleurs de sexe masculin

- Différence significative entre doses avec radioinduction de cancers et dose sans cancer

Bien que les conclusions préliminaires aient été confirmées, elles ont continué à recevoir une mauvaise presse. De ce fait, il était difficile de se rendre compte que les objections soulevées par les scientifiques qui avaient libre accès aux données Hanford<sup>14,15,16</sup> se référaient à des conclusions et non à des observations. Toutefois la conclusion préférée - selon laquelle une dose corrélative non identifiée (et non pas une radiation) était à l'origine de toutes les inductions de cancer - peut maintenant subir avec succès la comparaison critique avec une analyse de cohortes de décès survenus au cours de la période 1944-77, (par la méthode des modèles de régression dans les tables de longévité). Cette analyse a d'ailleurs dépassé son objectif en montrant :

- i) les implications d'une absence de considération de l'effet du "travailleur en bonne santé", et
- ii) comment se comparent deux modes indépendants de mesure de cet effet .

Lorsqu'on ne tenait pas compte de l'effet du "travailler en bonne santé", tous les non-survivants avaient de manière significative des doses inférieures à celles de l'ensemble des survivants. En revanche, si l'on tenait compte de cet effet - soit au moyen d'une échelle des titrages biologiques, soit à l'aide d'un barème de santé relative à chacune des occupations professionnelles - on obtenait :

- i) Une quasi-égalité entre le nombre de survivants et le nombre de décès dus à d'autres causes que le cancer;
- ii) des doses inférieures à la moyenne pour les cancers du groupe B;
- iii) des doses supérieures à la moyenne pour les cancers du groupe A.

Les conclusions négatives pour les cancers du groupe B résultaient clairement d'un biaisage dans la notification des cas dont les effets démontrés ont permis de conclure qu'en dépit du fait que les différences observées entre les survivants et les cas de cancers du groupe A étaient statistiquement significatives, elles n'étaient pas cependant aussi importantes que les véritables différences.

Ces résultats ont permis d'utiliser des tests d'adéquation maximale pour identifier les effets du rayonnement ionisant et les facteurs connexes d'induction du cancer, et d'obtenir ainsi une meilleure concordance entre les évaluations du risque et les situations de la vie réelle. Les résultats de ces tests peuvent se résumer comme indiqué ci-après (voir le Tableau 5 et la Figure 2).

- i) La relation dose-effet est une fonction non-linéaire et sa courbe obéit probablement à une loi en racine carrée. Il existe des preuves solides qui vont à l'encontre de l'hypothèse de seuil et confirment la thèse selon laquelle l'extrapolation linéaire des résultats d'observation de doses élevées conduisent à une sous-estimation des effets cancérogènes des faibles doses.
- ii) Chez les adultes, on constate, en fonction de l'âge, une augmentation progressive de la sensibilité aux effets du cancer sous de faibles niveaux d'irradiation. Il en résulte qu'il faut s'attendre à un doublement du risque de cancer pour chaque période d'âge supplémentaire de 8 ans. En d'autres termes, l'allure de la courbe est analogue à celle de la courbe de mortalité générale.
- iii) De courts intervalles de temps entre l'induction du cancer et la mort sont possibles, mais peu probables. Le plus grand risque de décès se situe probablement 25 ans après l'induction, mais cette estimation est fondée sur des données pour lesquelles l'intervalle le plus long qui se soit réalisé était de 32 ans.
- iv) Pour des cancers de tissus sensibles, qui sont à l'origine des trois quarts de tous les décès dus au cancer, la dose de doublement décroît progressivement avec l'âge et se situe autour de 15 rads pour un homme typique de 40 ans.

**TABLEAU 5 : Résultats MSK III du test du modèle après confirmation d'un effet d'irradiation pour des cancers du Groupe A.**

Effets de l'irradiation :	Estimation de l'adéquation
Dose-effet (E) :	Non linéaire, avec $E = 0,5$
Dose de doublement (D) :	$D = 15$ rads (limites de 95% 2 - 150)
Latence (L) :	Délai entre l'induction du cancer et la mort : $L = 25$ ans
Age (au moment de l'irradiation) (S) :	Nombre d'années supplémentaires à l'âge pour accroître la sensibilité au rayonnement de e (= base des logarithmes naturels) : $S = 8$ ans

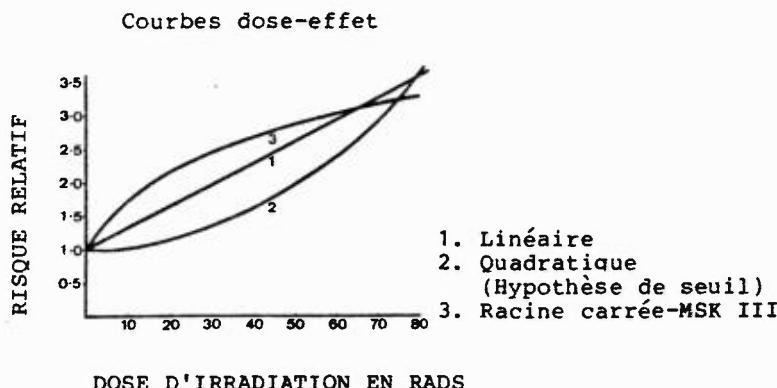


Fig.2 Graphe type "dose-effet" : risque relatif en fonction de la dose cumulative pour différents paramètres

L'ICRP n'a pas encore eu le temps de réagir à ces découvertes mais - comme on le verra plus loin - des pressions commencent à s'exercer contre le fait que l'on continue à se fier aux évaluations de risques ABCC. La publication ICRP 26 donne des facteurs de risque pour divers types de cancer, dont l'un, pour le cancer du sein, donne 25 comme nombre de cancers supplémentaires (par radioinduction) auquel il faut s'attendre au cas où un million de femmes seraient exposées à un rayonnement ionisant de 1 rem. Cette évaluation du risque absolu (de même que les estimations du risque relatif MSK) doit maintenant être comparée à la situation réelle de la vie pratique car les recherches poursuivies sur 1110 femmes ayant travaillé dans l'industrie de la luminescence au radium pendant la deuxième guerre mondiale ont permis d'identifier 16 décès par cancer du sein alors que, sur la base des statistiques nationales, le nombre théorique était de 10,3.

Pour toutes les causes de décès, le nombre observé (89) était inférieur au nombre prévu (112,0). En conséquence, il avait été conclu, en dépit de l'existence d'un effet du "travailleur en bonne santé", qu'il y avait un dépassement caractéristique de décès par cancer du sein et que le risque relatif était :  $16 \div 10,3 = 1,55$ .

La dose moyenne absorbée par 1110 ouvrières maniant des matières luminescentes a été de 38,5 rem. Par conséquent, si un million de femmes avaient été exposées à une dose de 1 rem, le nombre de décès supplémentaires aurait été :

$$\frac{(16 - 10,3) \cdot 10^6}{1110 \times 38,5} = 134$$

chiffre de 5 à 6 fois supérieur à l'estimation du risque absolu par l'ICRP. L'équivalence avec les estimations MSK III du risque relatif ne peut être obtenue aussi aisément (voir Tableau 5),

mais on peut y parvenir en postulant l'existence d'une femme née en 1915 et ayant travaillé dans la branche de la luminescence au radium de 1940 à 1945 en recevant une dose annuelle de 6,4 rems et décédée d'un cancer du sein en 1970 (Tableau 6). Pour une ouvrière dans cette situation, la dose réelle serait de 36,4 rems et la dose transformée ou dose d'induction effective du cancer serait de 8,2 rems. En conséquence, en admettant une fonction type (curviligne) dose-effet et la possibilité d'établir des comparaisons avec d'autres cancers de tissus "radio-sensibles", le risque relatif serait de 1,74, ce qui ne représente qu'une fraction au-dessus de l'estimation initiale.

TABLEAU 6 : Application des estimations de risque MSK III  
à une ouvrière-type travaillant dans  
l'industrie de la luminescence au radium<sup>1)</sup>

Année <sup>2)</sup>	Age	Dose en rads réelle	Dose en rads transformée	Risque relatif
1940	25	6,4	1,00	
1941	26	6,4	1,08	
1942	27	6,4	1,27	
1943	28	6,4	1,39	
1944	29	6,4	1,60	
1945	30	6,4	1,86	
Total		38,4	8,20	1,75

1) Cf. Référence 18

2) Date de décès : 1970

Cause : cancer du sein

Le curieux de cette histoire, c'est que les auteurs de l'étude pensaient évidemment que leurs conclusions allaient dans le sens des recommandations de l'ICRP et, par conséquent, qu'elles venaient renforcer l'idée que toutes les évaluations MSK exagéraient grossièrement les risques de cancer induit par de faibles niveaux d'irradiation. Etant donné que le rayonnement cosmique et terrestre tombe dans cette catégorie, nous allons maintenant comparer les estimations de risque MSK pour une dose de rayonnement ambiant de 0,1 rem par an (Tableau 7), avec une étude de mortalité par le cancer dans 329 régions du Japon, caractérisées par des niveaux de rayonnement ambiant connus (Tableau 8).

TABLEAU 7 : Rayonnement ionisant ambiant (0,1 rad par an) et mortalité due au cancer

Age au moment du décès	Dose cumulative réelle	Dose cumulative transformée <sup>1)</sup>	Cas de cancer <sup>2)</sup> radioinduit %
40	4,0	2,6	22
45	4,5	2,8	23
50	5,0	3,3	24
55	5,5	4,2	26
60	6,0	6,8	30
65	6,5	9,9	34
70	7,0	15,0	38

1) Cf. Référence 17

2) Proportion sur l'ensemble des décès dus au cancer

TABLEAU 8 : Mortalité due au cancer et rayonnement ambiant en 329 lieux du Japon<sup>1)</sup>

Genre	Rayonnement ambiant en millirems	Mortalité due au cancer <sup>2)</sup> taux /10 <sup>-5</sup>
Hommes	moins de 60 ans	753
	60 - 79 ans	839
	80 - 99 ans	840
	100 +	868
Femmes	moins de 60 ans	464
	60 - 79 ans	541
	80 - 99 ans	554
	100 +	567

1) Cf. Référence 19

2) Décès survenus à un âge supérieur à 40 ans pendant la période 1969-70

Selon l'étude MSK III, le rayonnement ionisant ambiant exerce une influence sur la mortalité due au cancer, et les décès imputables à cette cause pourraient représenter 22% de l'ensemble des décès dus au cancer entre 40 et 45 ans et 38% au-delà de 70 ans. L'étude japonaise était limitée aux décès dus au cancer à partir de l'âge de 40 ans. Pour les hommes, l'augmentation du taux de

décès passe de  $753 \cdot 10^{-5}$  pour le plus bas des quatre niveaux de dose d'irradiation (moins de 0,06 rem par année), à  $868 \cdot 10^{-5}$  pour le niveau le plus élevé (supérieur à 0,10 rem par année); pour les femmes, les chiffres correspondants étaient respectivement  $464 \cdot 10^{-5}$  et  $567 \cdot 10^{-5}$ . Ces résultats constituent une raison supplémentaire de soupçonner que les études sur la mortalité des survivants des explosions de la bombe atomique ne fournissent pas d'indications fiables sur les risques d'irradiation encourus par des populations qui n'ont pas subies les effets de radiations de forte intensité.

J'ai rédigé mes conclusions à ce sujet dans un article qui est encore à l'examen, à l'attention du British Journal of Epidemiology and Community Health.<sup>20</sup> Elles peuvent se résumer en disant qu'une évidente faiblesse des estimations de risques ABCC réside dans le fait qu'il n'y a jamais eu de contrôle entrepris en ce qui concerne deux effets certains des explosions, ni d'un effet probable de celles-ci. Les effets certains sont la sélection naturelle (effet du survivant "en bonne santé") et la guérison incomplète de lésions graves (effet du survivant "en mauvaise santé"); l'effet probable est la guérison incomplète d'une lésion de la moëlle osseuse, et les conséquences qui peuvent en résulter sur la sensibilité à l'infection et les anémies primaires. A l'appui de cette hypothèse, il faut prendre en considération les éléments suivants :

- i) Les constatations relatives aux maladies du sang autres que la leucémie, suggérant un taux de mortalité élevé directement lié à l'importance de la dose dans les cas d'anémie primaire;
- ii) les constatations relatives au suicide, selon lesquelles la mort subite de personnes en bonne santé physique n'est pas influencée par le fonctionnement de la moëlle osseuse;
- iii) les différences de situation des villes en cause : les effets du rayonnement ionisant ont été plus intenses et plus localisés à Nagasaki (où la bombe a explosé dans une vallée étroite entourée de collines) qu'ils ne le furent à Hiroshima (où la bombe a explosé au-dessus d'un delta);
- iv) les constatations relatives aux accidents cérébro-vasculaires et à la tuberculose, selon lesquelles les décès dus à la première de ces deux causes sont beaucoup moins liés à des lésions de la moëlle osseuse que ceux provoqués par la seconde.

Dans l'article encore inédit dont il vient d'être question, on trouvera les résultats de certaines corrections tenant compte de l'effet du "survivant en bonne santé", résultats répertoriés ans le Tableau 9 ci-après. Le facteur de correction égalise le taux de décès observé à Hiroshima à la suite d'accidents cérébro-vasculaires au risque de décès dû à des causes naturelles; il permet de montrer que, dans cette hypothèse, deux tiers des décès excédentaires (imputables au rayonnement ionisant) n'étaient pas dus au cancer, et que le nombre total de ces décès était dix fois supérieur aux estimations ABCC du Tableau 1.

TABLEAU 9 : Données ABCC - avec correction tenant compte de l'effet du "survivant en bonne santé"

<u>CONDITION DE BASE</u>	: Cause de décès <u>non affectée par l'effet du "survivant en mauvaise santé"</u> qui peut être comparé avec les statistiques nationales			
<u>CHOIX PROVISOIRE</u>	: Accidents cérébro-vasculaires			
<u>FACTEUR DE CORRECTION</u>	: Rapport O:E pour les survivants de Hiroshima = 0,70			
<u>EVALUATION DES RISQUES</u>	: Décès pendant la période 1950-72, sur 82244 survivants			
Décès	Observation	Prévision (initiale) corrigée	"Excédent"	
<u>Néoplasmes</u>	3744	(3283)	2298	1446) 4399
<u>Autres causes</u>	14782	(16899)	11829	2953)

1) Cf. Référence 23

#### COMMENTAIRES

L'hypothèse selon laquelle l'extrapolation des observations faites sur la base de hautes doses exagère les risques de cancer induit par de faibles doses (hypothèse de seuil) est fondée sur le fait connu qu'il y a toujours, dans une certaine mesure, réparation du dommage chromosomique causé par une exposition au rayonnement ionisant, et sur l'hypothèse que cette réparation est nécessairement bénéfique. Toutefois - en théorie du moins - la réparation incomplète d'un dommage chromosomique peut aggraver le risque de cancer par le renforcement de la viabilité des cellules endommagées. En accord avec cette hypothèse, on peut citer la forme de la courbe dose-effet pour les irradiations observées à Hanford<sup>17</sup>, les données relatives aux ouvrières travaillant dans l'industrie de la luminescence au radium<sup>18</sup>, ainsi que différents niveaux de rayonnement ambiant observés au Japon<sup>19</sup>.

Une fonction dose-effet qui suit une loi en racine carrée revêt une grande importance aussi bien pour l'entreposage de déchets radioactifs, qu'en ce qui concerne les défectuosités de réacteurs de l'importance de celles qui ont entraîné l'accident de Windscale en 1957, et celui de Three Mile Island (TMI) en 1979. Il faut en tenir compte lors du stockage de substances radioactives, parce qu'en raison même de l'amplitude de l'effet, il importe de traiter les sources de radioactivité "diluées" avec les mêmes précautions que les sources "concentrées". Si les défectuosités des réacteurs sont en cause du fait de cette loi, c'est parce qu'en cas d'accident, les gens vivant au voisinage du réacteur sont généralement affectés au même titre que le personnel qui y travaille.

Comme on peut le supposer, un certain nombre de personnes travaillant à Windscale et à Three Mile Island ont pu être affectées par les accidents qui s'y sont produits. Il est donc encore possible de faire pour les ouvriers britanniques ce qui a été fait pour les ouvrières de l'industrie de la luminescence, et d'entreprendre pour les ouvriers américains ce qui s'est déjà fait pour ceux de Hanford. Chaque accident offre l'occasion de soumettre les ouvriers, le personnel et d'autres gens exposés aux rayonnements ionisants, à des examens suivis, analogues à ceux auxquels ont été soumis les survivants des bombes atomiques. Bien qu'il soit trop tard pour identifier les "survivants" britanniques, les possibilités actuelles de recherche au sujet de l'accident de Three Mile Island sont bien meilleures que celles relatives aux séquelles des bombes atomiques au Japon.

TABLEAU 10 : Mortalité néo-natale (taux trimestriels)

Année	Trimestre	Pennsylvanie	Three Mile Island (TMI) (dans un rayon de 10 miles/ environ 16 km)
1977	1er	107	124
	2ème	111	85
	3ème	101	61
	4ème	101	105
1978	1er	99	86
	2ème	111	76
	3ème	93	10
	4ème	105	108
1979	1er *	93	172
	2ème *	104	186
	3ème	90	79
	4ème	104	96

\* Périodes affectées par l'accident de TMI (28 mars-6 avril 1979)

Tests (statistiques) d'homogénéité : Pennsylvanie - oui  
TMI - non

Hétérogénéité de la région TMI :

1) pas due à des facteurs saisonniers

2) principales contributions : 3ème trimestre de 1978 (diminution)  
1er et 2ème trimestres de 1979 (augmentation)

Nous savons déjà que, pendant les deux périodes affectées par l'accident de Three Mile Island (c'est-à-dire les premier et deuxième trimestres de 1979), les taux de mortalité néonatale pour la population locale de TMI étaient supérieurs aux taux correspondants pour la Pennsylvanie (Tableau 10), et depuis lors nous avons appris qu'il existait une différence analogue en ce qui concerne l'hypothyroïdisme chez les nouveau-nés<sup>2</sup>. De plus, il convient de

reconnaitre qu'il n'y a aucune raison de ne pas répéter aujourd'hui les mesures prises (en 1950) pour déterminer le nombre de personnes qui avaient été exposées aux radiations de la bombe atomique en 1945. A cet effet, il suffirait d'inclure une question appropriée dans le prochain recensement des Etats-Unis d'Amérique. L'identification d'une population sujette à des risques pourrait être suivie de l'identification des personnes décédées (en se référant aux demandes d'indemnités pour cause de décès auprès de la Sécurité sociale), ainsi qu'à celle des enfants de la génération F1, atteints d'informités congénitales, (en se référant aux demandes d'indemnités pour cause d'incapacité, présentées par les ayants-droit au titre de personnes à charge).

REFERENCES

- 1 ICRP Publications 26, Radiation Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.
- 2 Radiosensitivity and Spatial Distribution of Dose (1969), ICRP Publication 14, Pergamon Press.
- 3 Beebe, G.W., Kato, H. and Land, C.E. (1977), Mortality experience of atomic bomb survivors 1950-74. Life Span Study Report 8. Washington D.C.: U.S. National Academy of Science, RERF TR 1-77.
- 4 The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (1972), Report of the Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation.
- 5 Radiation Effects on Prenatal Development (1977), in Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR.
- 6 Jablon, S. and Kato, H., (1970) Childhood Cancer in relation to prenatal exposure to A-bomb radiation, Lancet, ii, 1000-1003.
- 7 Stewart, A. and Kneale, G.W. (1970), Radiation dose effects in relation to obstetric x-rays and Childhood Cancers, Lancet, i, 1185.
- 8 Mancuso, T., Sanders, B. and Brodsky, A. (1971). Proc. 6th Ann. Health Physics Soc. Topical Symposium, Vol. III, Study of the Lifetime Health and Mortality Experience of Employees and AEC Contractors.
- 9 Manusco, T.F., Stewart, A.M. and Kneale, G.W. (1976), Radiation Exposures of Hanford Workers dying from various causes, 10th Mid-year Topical Symposium of the Health Physics Society, Proc. of papers presented at Saratoga Springs, 204-230, Rensselaer Polytechnic Inst. Troy, NY. 12181.
- 10 Mancuso, T.F., Stewart, A.M. and Kneale, G.W. (1977), Hanford I: Radiation Exposures of Hanford Workers dying from Cancer and Other Causes, Health Physics, 33, 369-384.
- 11 Kneale, G.W., Mancuso, T.F. and Stewart, A.M. (1978), Re-analysis of Data relating to the Hanford Study of the Cancer Risks of Radiation Workers - Hanford IIA, in Late Biological Effects of Ionizing Radiation, 1, 387-410, IAEA.
- 12 Stewart, A.M., Kneale, G.W. and Mancuso, T.F. (1980). Hanford IIB: The Hanford Data - A Reply to Recent Criticisms, Ambio, 9, 66-73.
- 13 Reissland, J.A. (1978), An Assessment of the Mancuso Study, NRPB - R 79, National Radiological Protection Board, Harwell, Didcot, Oxon, OX11 ORQ., England
- 14 Marks, S. and Gilbert, E.S. (1978), Cancer Mortality in Hanford Workers, in Late Biological Effects of Ionizing Radiation, 1, 369-384, IAEA.
- 15 Hutchinson, G.B., MacMahon, B., Jablon, S. and Land, C.E. (1979), Review of Report by Mancuso Stewart & Kneale of Radiation Exposure of Hanford Workers, Health Physics, 37, 207-220.
- 16 The Comptroller General of the United States, Problems in Assessing the Cancer Risks of Low-Level Ionizing Radiation Exposure, General Accounting Office, P.O. Box 6015, Gaithersburg Md. 20760.
- 17 Kneale, G.W., Mancuso, T.F. and Stewart, A.M. (in press 1981), A Cohort Study of the Cancer Risks from Radiation to Workers at Hanford (1944 to 1977 deaths) by the Method of Regression Models in Life-Tables, Brit. J. Indus. Med.

- 18 Baverstock,K.F. Papworth,D. and Bennart.J (1981), Risks of Radiation at Low Dose Rates, Lancet 21st Feb., 430-433.
- 19 Ujeno,Y. (1978), Carcinogenic Hazard from Natural Background Radiation in Japan, J. Rad. Res., 19, 205-212.
- 20 Stewart,A.M. (in press), Delayed Effects of A-bomb Radiation - A Review of recent mortality rates and risk estimates for 5-year survivors, Brit. J. Epidemiology and Community Health.
- 21 Bertell,R., Understanding the Three Mile Island accident (Unpublished).
- 22 Mole,R.H. (1978), The Sensitivity of the Human Breast to Cancer Induction by Ionizing Radiation, Brit. J. Radiology, 51, 401-405.
- 23 Moriyama,I.M. and Kato,H., Mortality Experience of A-bomb Survivors 1970-72, 1950-72, ABCC Life Span Study Report 7, RERF TR 15-73.