SANTÉ ET RAYONNEMENT

Effets cancérigènes des faibles doses de rayonnement

GSIEN/CRII-RAD

SANTE ET RAYONNEMENT

Effet cancérigène des faibles doses de rayonnement ionisant

Janvier 1988

Traduction effectuée par
Anghjulamaria CARBUCCIA,
Bella et Roger BELBEOCH

Pour la commande des brochures, s'adresser à
B. Belbéoch,
5 Boulevard Henri IV, 75004 Paris
ou à la **CRII-RAD**
8, rue louise Gémard, 26200Montélimar

Collaboration

GSIEN / CRII-RAD

SOMMAIRE

Roger Belbéoch 9 - 24

Les effets biologiques des faibles doses de rayonnement . Introduction .

Edward P. Radford 25 - 41

Résultats récents concernant les cancers radio-induits parmi les survivants japonais des bombes A .

Nobotu Tatabe 43 - 54

Une estimation du risque relatif au rayonnement gamma pour les survivants des bombes A, fondée sur les données épidémiologiques les plus récentes et sur la dosimétrie révisée .

Alice M. Stewart 55 - 64

Effets à long terme du rayonnement sur les survivants des bombes A . Problèmes du risque qui ne sont pas liés au nouveau système de dosimétrie .

Roger Belbéoch 65 - 73

Le système international de radioprotection est fondé sur des données fausses .

CIPR 1987 75 - 80

Compte rendu de la réunion de la Commmission Internationale de Protection Radiologique à Côme en septembre 1987. Extraits .

Karl Z. Morgan 81 - 104

Les estimations du risque par la CIPR . Un autre point de vue . Extraits .

Patrick Green 105 - 114

Le dossier de la Commission Internationale de Protection Radiologique . Extraits .

Alice M. Stewart 115 - 135

Effets à long terme des faibles doses de rayonnement ionisant sur les travailleurs et la populaton .

Karl Z. Morgan 137 - 145

Evaluation du risque dû à l'exposition aux rayonnements ionisants . Un autre point de vue .

Alice M. Stewart 147 - 159

Effets cancérigènes du rayonnement ambiant .
Les recommmandation de la CIPR sont-elles fiables ?

Carl J. Johnson 161 - 182

Présentation de quelques études effectuées aux USA sur les faibles doses de rayonnemEnt et le cancer .

David Gee 183 - 195

Les irradiations profesionnelles et les arguments en faveur d'une réduction des doses limites

Les effets biologiques des faibles doses de rayonnement

- INTRODUCTION -

Roger Belbéoch

membre
du
GSIEN

Depuis plus de quinze ans, le problème des effets biologiques des faibles doses de rayonnement a secoué les experts en radioprotection. Il y a quelque temps, le débat a repris et les enjeux sont maintenant des plus clairs. Il ne s'agit pas d'un débat académique car il concerne un élément essentiel, peut-être le plus important du dossier sur l'acceptabilité de l'énergie nucléaire, dès lors que les accidents majeurs dans les installations nucléaires sont reconnus comme possibles. Suivant la valeur que l'on attribue au facteur de risque biologique des faibles doses de rayonnement, cette énergie apparaît comme totalement inacceptable, acceptable mais avec des coûts exorbitants dus à la protection, ou bien "acceptable" avec des conséquences peu plaisantes pour la société (évacuation éventuelle de populations importantes, possibilité de perte de larges portions de territoire, grand nombre de morts par cancers différés et accroissement considérable du fardeau génétique ...etc...). Si les effets biologiques des faibles doses de rayonnement sont, ou peu importants ou totalement nuls, alors, sans conteste, l'énergie nucléaire pourrait être acceptable et les coûts considérables de la sûreté raisonnablement diminués (ce qui améliorerait considérablement la compétitivité économique de cette énergie actuellement sujette à maintes attaques de la part des industriels eux-mêmes).

Jusqu'à présent on a très peu parlé des effets biologiques des faibles doses de rayonnement dans les médias, même quand la polémique faisait rage dans les milieux d'experts entre les représentants de l'establishment médical et nucléaire et certains chercheurs indépendants. La situation a été admirablement résumée par le journal d'information "Le Monde" lorsqu'après l'accident de Three Mile Island il affirmait sans le moindre doute : "en-dessous de 25 rem, pas d'effets".

Tout d'abord il faut bien se rendre compte que le champ d'application des faibles doses est vaste. Il concerne en particulier :

1 / le domaine des doses reçues par les travailleurs de l'industrie nucléaire en dehors des situations accidentelles catastrophiques. Toute modification de la relation effet/dose devrait logiquement se répercuter sur les doses maximales légalement admissibles en radioprotection, avec les conséquences que l'on peut prévoir sur les coûts de construction et d'exploitation des installations nucléaires.

2 / c'est aussi le domaine des doses reçues par les populations vivant

au voisinage des installations nucléaires par suite des rejets contrôlés ou accidentels. La relation dose/effet devrait déterminer les autorisations de rejets des effluents radioactifs. Tout rejet non autorisé conduit à augmenter le traitement des effluents ainsi que le stockage des déchets. Une modification en baisse des autorisations de rejet compliquerait l'exploitation des installations nucléaires et augmenterait très notablement les coûts d'exploitation.

3 / les critères d'acceptabilité pour le stockage des déchets nucléaires dépendent (ou plutôt devraient dépendre) de l'importance des effets biologiques du rayonnement . C'est toute la gestion des déchets (y compris sa faisabilité) qui est concernée.

4 / le facteur de risque des faibles doses est l'élément essentiel pour la gestion d'un accident nucléaire grave. L'action brutale des très fortes doses de rayonnement ne peut conduire, en cas d'accident important, qu'à un nombre assez faible de victimes (bien que plus élevé que ce que l 'on admettait généralement avant Tchernobyl). Il ne semble pas que ce soit cette raison qui donne à l'accident nucléaire grave son caractère de catastrophe. Le facteur de risque des faibles doses devrait être pris en compte dans les critères d'intervention . En particulier il devrait être essentiel pour la détermination tant des zones à évacuer que de l'urgence de cette évacuation. C'est ce facteur qui devrait jouer pour déterminer la durée pendant laquelle les territoires évacués ne seront pas utilisables.

5 / le bilan d'une catastrophe nucléaire du type Tchernobyl implique la contamination de tout un continent. Le bilan exact est strictement dépendant du facteur de risque des faibles doses lorsque les niveaux de contamination sur des dizaines d'années ont été évalués. Comme exemple concret signalons que les experts soviétiques avaient en août 1986 évalué le nombre de cancers mortels supplémentaires dus à la contamination post-Tchernobyl à 40 000 pour les 75 millions d'habitants de l'Ukraine et de la Biélorussie. Cette évaluation partait du facteur de risque admis officiellement par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) de 125 cancers mortels supplémentaires pour un million de rem x homme de dose collective. Si l'on tient compte de la nouvelle estimation de la CIPR dans sa déclaration de Côme (1987), il faut multiplier ce nombre par 2. Le risque, s'il est

sous-estimé d'un facteur compris entre 10 et 30 comme le suggère la polémique entre les experts, porte le "coût" de Tchernobyl pour l'Ukraine et la Biélorussie, à un nombre de victimes compris entre 400.000 et 1.200.000 ! Le facteur de risque est donc tout à fait essentiel pour appprécier le bilan d'une catastrophe nucléaire.
La catastrophe de Tchernobyl a mis en évidence un problème nouveau. Jusqu'à présent l'attention s'était portée sur les deux extrêmes du spectre des doses : les fortes doses (supérieures à 300 rem) ont des effets aigus très spectaculaires dont l'intensité dépend des doses reçues. Les faibles doses, inférieures à 10 rem, dont les seuls effets biologiques reconnus sont l'induction à long terme de cancers et des effets génétiques sur les descendants des irradiés. Les évaluations faites par les experts soviétiques après Tchernobyl indiquent qu'un grand nombre de gens au voisinage du site ont reçu des doses de rayonnement externe allant jusqu'à 50 rem . D'autre part les intervenants que les autorités soviétiques ont envoyés sur le site pour gérer l'accident, les pilotes des hélicoptères qui survolèrent le réacteur, les chauffeurs des autobus qui évacuèrent les gens, les soldats qui durent décontaminer le site afin de permettre le redémarrage des réacteurs non endommagés, etc..., toutes ces personnes ont probablement reçu des doses qui, sans entrer dans ce qu'on appelle les fortes doses, n'en sont pas pour autant assez faibles pour qu'on les qualifie de faibles doses. Les doses allant de 10 à 100 rems n'ont jusqu'à présent pas été très bien étudiées. Si à ces niveaux le facteur de rique cancérigène par unité de dose semble être plus petit qu'aux faibles doses, cela ne signifie pas que l'effet global du rayonnement n'est pas plus important. En effet pour ces niveaux de dose il y a certainement des effets importants sur la morbidité qui devraient accroître les risques de mortalité pour un grand nombre de causes autres que le cancer. Ce domaine a été peu exploré car jusqu'à présent les données statistiques étaient insuffisantes. La catastrophe de Tchernobyl devrait, si les données sont correctement collectées et rendues publiques, permettre de préciser ces effets de morbidité pour ces niveaux de dose intermédiaires.

6 / le facteur de risque des faibles doses de rayonnement devrait être à la base des normes de contamination radioactive maximale des produits alimentaires. L'accident de Tchernobyl a mis en évidence dès les premiers jours une imprévoyance manifeste des autorités sanitaires en

ce qui concerne la contamination radioactive des aliments. Il est évident maintenant, que l'industrie nucléaire exige que les limites légales de contamination radioactive des aliments soient les plus élevées possibles. (C'est la France, le pays le plus nucléarisé d'Europe, qui exige les limites les plus élevées). Depuis des mois les experts officiels européens n'arrivent pas à se mettre d'accord sur ces limites. Le problème est de taille car il concerne la protection de la santé publique au niveau européen et le prix que nous devrons payer pour utiliser l'énergie nucléaire. La discussion s'est maintenue dans le cercle fermé des experts officiels. L'indifférence quasi totale des médias en France permet à cette situation de secret de se maintenir avec beaucoup de facilité. Il est impossible de se procurer les rapports que les experts ont fournis aux gouvernements . Cependant il semble bien que les problèmes sanitaires posés par les effets des faibles doses de rayonnement sont assez secondaires dans les négociations où les principaux protagonistes sont les ministres de l'agriculture et ceux des affaires étrangères. Les ministres de la Santé semblent se soucier fort peu de ces problèmes de contamination radioactive des aliments. A force d'escamoter les effets biologiques du rayonnement on arrive à ne les envisager que sous leur aspect économique. Ceci est absolument intolérable si l'on a tant soit peu le souci de la protection de la Santé publique et de celle des individus et de leur descendance.

Les faibles doses concernent aussi, bien d'autres domaines. Par exemple le rayonnement médical. Jusqu'à présent les études de médecine ne permettent pas aux professionnels de la santé d'aborder d'une façon correcte le rayonnement médical. Le corps médical est dans l'ignorance quasi totale des problèmes débattus depuis très longtemps parmi les experts en protection radiologique. Et pourtant la multiplication des actes radiologiques, l'utilisation des rayons X pour le dépistage de masse devraient poser problème tant au niveau des principes (protection des individus ou protection sociale) que de l'efficacité des méthodes (la détection sauve-t-elle plus de personnes qu'elle n'en tue ?) Le fait de ne pas traiter ces problèmes n'est pas un oubli de notre part mais notre but était d'abord de traiter les problèmes généraux qui permettent de situer les divers problèmes concrets d'une façon plus réaliste.

Les propriétés fondamentales des faibles doses de rayonnement compliquent considérablement leur étude. Elles peuvent induire des cancers chez les irradiés et des défauts génétiques chez leurs descendants. Dans les deux cas, ces effets prennent la même forme que les cancers et les défauts que l'on peut observer naturellement, en dehors de toute irradiation artificielle. Il est donc impossible d'identifier individuellement ces effets. Il faut dénoncer comme une escroquerie flagrante toutes les déclarations de soi-disant responsables lorsqu'ils affirment que le bilan de l'énergie nucléaire est largement positif pour les maladies professionnelles en se fondant uniquement sur les cas de mortalité où la preuve est faite sans ambiguité que le rayonnement est bien la cause de la mort. Seule une étude épidémiologique statistique permettrait de faire un bilan. Mais les données sont la propriété des promoteurs de l'énergie nucléaire. Cet aspect est tout à fait fondamental lorsque l'on veut traiter le problème des faibles doses.

La seconde caractéristique est le temps de latence très long avant que ces effets soient cliniquement observables, plus de 20 ans pour les cancers, une à plusieurs générations pour les défauts génétiques. Dans ces conditions, là encore, seule une étude statistique de données collectées sur un temps très long peut donner des résultats valables. Les responsables de la promotion de l'énergie nucléaire ont compris assez rapidement que ces statistiques de mortalité étaient hautement stratégiques et qu'en aucun cas elles ne devaient tomber sans précaution dans le domaine public. Le gouvernement américain a confisqué les données sur les travailleurs de l'installation nucléaire de Hanford dès que le Professeur Mancuso a commencé à les exploiter. Il maintient secrètes les archives concernant les données sur les travailleurs des autres centres nucléaires contrôlés par l'Etat. Un an et demi après la catastrophe de Tchernobyl le gouvernement soviétique n'a publié aucune donnée sur l'état sanitaire des 135 000 personnes évacuées autour du site. Et pourtant il y a eu depuis mai 1986 suffisamment de naissances dans cette population pour avoir quelques informations précises concernant l'effet à court terme du rayonnement sur la première génération issue d'une population d'irradiés. Au Japon, la Fondation (gérée conjointement par des fonds officiels américains et japonais) qui a la charge du suivi des survivants des bombes A d'Hiroshima et de Nagasaki, a refusé pendant de longues années tout accès à

ses données aux chercheurs indépendants. Ce n'est que récemment qu'elle a commencé à autoriser cet accés. Il faut insister sur le fait que dans ces divers cas il s'agit de données qui intéressent la santé publique mondiale et qui de ce fait ne peuvent pas être considérées comme la propriété personnelle d'un Institut ou d'un Etat.

Les études épidémiologiques sur les faibles doses de rayonnement posent des problèmes délicats qui peuvent introduire de nombreux biais. Le problème essentiel concerne la représentativité de la population prise comme référence pour évaluer la mortalité du groupe étudié. Quand il s'agit de travailleurs, la mortalité nationale moyenne n'est pas du tout représentative de gens sélectionnés à l'embauche. Les travailleurs des industries à risques sont généralement en bien meilleure santé que la moyenne nationale. Ne pas tenir compte de cet effet conduit à des aberrations énormes comme d'affirmer que le rayonnement n'est pas nocif car la mortalité par cancers chez ces travailleurs est inférieure à la moyenne nationale. On n'est pas loin de l'affirmation, il y a une dizaine d'années, d'un responsable du comité médical de l'EDF selon laquelle les faibles doses avaient un effet bénéfique !

En ce qui concerne les études sur l'effet du rayonnement naturel il faut bien voir qu'il est a priori absurde de vouloir comparer la mortalité par cancer dans des régions où le rayonnement est très important comme au Kérala (Inde), mais où les registres de mortalité n'existent certainement pas avec suffisamment de précision pour être utiisables, où la mortalité générale est élevée, ce qui ne laisse pas suffisamment de temps aux cancers radioinduits pour se développer et s'exprimer, avec la mortalité de régions où la radioactivité naturelle est beaucoup plus faible comme en France par exemple. Ceux qui utilisent de tels exemples exposent ouvertement leur mauvaise foi ou leur ignorance des problèmes. De nombreux facteurs affectent l'induction de cancers. Déterminer l'action spécifique d'un seul de ces facteurs (le rayonnement naturel par exemple) implique que l'on vérifie soigneusement que d'autres facteurs n'introduisent pas de biais notable (facteurs socio-économiques ou régionaux, régimes alimentaires...etc...). De ce fait très peu d'études sur l'effet cancérigène du rayonnement ambiant sont possibles. Celle d'Ujeno au Japon est l'une

d'entre elles car au Japon on trouve sur un territoire restreint une population assez grande et relativement homogène socialement. Elle a montré que certains cancers (de l'estomac par exemple) étaient corrélés avec le rayonnement naturel. L'autre étude importante réalisée par Alice Stewart en Grande-Bretagne porte sur l'influence du rayonnement naturel sur la mortalité par cancer chez les enfants. Trois éléments ont été paticulièrement favorables à la conduite de cette étude :

- l'existence de mesures du rayonnement terrestre sur une grille à maille assez fine (10 km x 10 km)
- l'existence d'un vaste registre de mortalité par cancer qui contenait de nombreuses informations complémentaires (étude d'Oxford sur les enfants)
- le fait que l'action sur les foetus ne soit importante que pendant une période assez courte, permet d'affecter à chaque cas une valeur du rayonnement terrestre en un lieu précis (le lieu de résidence au moment de la naissance). Le résultat de cette étude montre que le foetus est particulièrement radiosensible et que la mortalité par cancer chez les enfants serait essentiellement due au rayonnement ambiant.

D'une façon générale, comme les temps de latence sont très longs, il est absolument nécessaire d'effectuer le suivi de mortalité de la population étudiée pendant très longtemps. Par exemple, toute étude faite sur une cohorte de travailleurs pendant la seule période de leur vie professionnelle (exclusion des retraités et des travailleurs ayant quitté l'entreprise) est entachée d'erreur et ne peut donner qu'une valeur sous-estimée du risque. Ceci est évident, mais il a fallu de nombreuses années pour convaincre les responsables médicaux de l'industrie nucléaire que les études ne portant que sur un ensemble de travailleurs en activité étaient biaisées. Cela a été le cas pour les premières études faites en Angleterre sur les travailleurs du centre de retraitement de Windscale (rebaptisé il y a quelques années Sellafield). En France, nos responsables, beaucoup plus prudents, se sont contentés de ne pas faire d'études du tout. Cela, évidemment, réduisait considérablement les risques de polémique.

Pour certaines études épidémiologiques, on ne connait pas les doses soit parce que ces données n'existent plus, soit parce qu'elles ne sont pas administrativement accessibles, soit encore parce qu'on

renonce délibérément à en tenir compte. Dans ces cas on étudie la mortalité par cancers de cette population. Pour mettre en évidence un risque éventuel, on compare cette mortalité à la mortalité par cancer d'une population équivalente (pour les âges et les sexes) n'ayant pas subi d'irradiation. D'une façon générale, on ne connait bien que la mortalité (pour les diverses causes) de la population nationale dans son ensemble ou pour de grandes régions. Mais cette population nationale est beaucoup trop générale pour servir de population de référence. En particulier, il est bien évident maintenant que les travailleurs des industries à haut risque sont en bien meilleure santé que la moyenne nationale. Cela se traduit par un taux de mortalité beaucoup plus faible. Pour certaines industries ce taux peut ne représenter que 40% de celui de l'ensemble du pays. C'est ce que l'on désigne par l'expression "l'effet du travailleur en bonne santé" (en anglais "healthy worker effect"). La sélection des travailleurs peut se faire aussi tout simplement par sélection naturelle, les travailleurs de santé médiocre abandonnant certains postes de travail pour trouver une activité moins pénible. Les deux effets peuvent se conjuguer. Ceci conduit souvent à un résultat paradoxal. Dans l'industrie nucléaire, certains groupes d'ouvriers peuvent être soumis à des risques élevés et la mortalité pour cette catégorie est plus faible que celle des cadres de la même industrie qui normalement ne sont pas soumis à des risques professionnels importants. Cela conduit à un effet inverse de celui des conséquences socio- économiques qui aboutit à des taux de mortalité plus bas pour le haut de la hiérarchie sociale. Ne pas tenir compte de cet effet introduit des erreurs grossières dans les résultats. On constate que la mortalité générale et la mortalité par cancers est notablement plus faible pour les travailleurs de l'énergie nucléaire que pour l'ensemble du pays. Conclure que le rayonnement pourrait être bénéfique, est évidemment stupide. Pourtant, ce n'est qu'assez récemment que les études officielles admettent qu'il faut tenir compte de cet effet de sélection. Une étude faite par l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire sur les travailleurs du CEA reconnait cet effet de sélection pour toutes les causes de mort, sauf les cancers. Cette exclusion est faite par une simple déclaration a priori sans que celle-ci soit étayée par un test sur les données.

Une autre erreur, souvent commise dans les études des effets

cancérigènes du rayonnement, a été de ne regarder que le taux de mortalité générale. L'excés de cancers, quand il existait, se trouvait alors dilué parmi les autres causes de mortalité. L'excès des cancers pouvait compenser le défaut de mortalité générale dû à l'effet de sélection, on se trouvait alors avec une population d'apparence normale n'ayant subi aucun risque particulier. Ce genre d'erreur n'est maintenant plus admis, mais il a fallu de nombreuses années de polémique avec les responsables officiels de la Santé pour que ce point soit acquis.

Lorsque l'on connait les doses de rayonnement reçues individuellement il n'est plus nécessaire d'avoir une population de référence extérieure au groupe étudié. Il est possible de chercher la corrélation entre les doses et la mortalité par cancers pour divers sous-groupes classés suivant les niveaux de dose. Il faut bien sûr effectuer des contrôles pour établir l'effet de paramètres comme le sexe et l'âge par exemple. La méthode est beaucoup plus précise statistiquement. Diverses irradiations autres que celles mesurées peuvent intervenir pour modifier l'incidence des cancers mortels. Si ces irradiations sont uniformément réparties parmi l'ensemble du groupe étudié, le coefficient de corrélation ne sera pas modifié. C'est le cas de l'irradiation par le rayonnement naturel ambiant et généralement celui des radiodiagnostics médicaux. Si elles ne sont pas uniformes elles peuvent rendre le résultat de la corrélation moins net,moins significatif, mais tant que ces irradiations parasites ne sont pas directement corrélées aux doses reçues dont on tient compte, il n'y a pas d'erreur systématique dans les résultats. Cela augmente simplement le "bruit de fond" et affecte éventuellement la précision. Le cas de la contamination interne est particulier car si elle est importante chez certains travailleurs on peut la supposer corrélée aux niveaux des doses externes enregistrées qui traduisent en fait des niveaux d'exposition au risque. Il est important dans ce cas d'effectuer des tests statistiques pour s'assurer que ce paramètre ne biaise pas le résultat d'une façon significative.

L'évaluation officielle du facteur cancérigène du rayonnement est essentiellement fondée sur l'étude des survivants japonais de Hiroshima et Nagasaki. Les autorités internationales chargées de fixer les normes de radioprotection se sont essentiellement appuyés sur cette

étude considérant, quasiment a priori, comme non valables toutes les études qui pouvaient la contredire. Cette étude, dès le début a été l'objet de critiques quant à la représentativité de la population étudiée. La catastrophe que représentent les bombardements de Hiroshima et de Nagasaki a produit chez les survivants une sélection, seuls les individus de santé exceptionnelle ayant des chances de survie, les faibles disparaissant assez rapidement.

Au début des années 80 deux faits nouveaux sont survenus. Tout d'abord il s'est avéré que la dosimétrie était totalement fausse. De plus le facteur de risque s'appuyait sur la mortalité observée jusqu'en 1974 chez les survivants. Cela supposait que le temps de latence pour les cancers radioinduits était inférieur à 30 ans. Ceci est assez vrai pour la leucémie mais totalement faux pour les autres tumeurs malignes. Depuis 1974 l'excès de cancers radioinduits n'a cessé de croître et, pour la plupart des cancers, il n'est pas encore observé de tendance à la décroissance . Tout ceci bouleverse complètement les concepts sur lesquels les systèmes de radioprotection sont fondés. Dans l'ancienne évaluation la "meilleure" représentation était un modèle à seuil : en-dessous d'une certaine dose (environ 100 rem) aucun effet notable n'était visible . Ce modèle n'ayant aucun fondement théorique avait été rejeté par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) qui adopta le modèle linéaire. La CIPR avança comme raison du choix linaire un "souci de prudence" afin d'assurer une meilleure protection. elle n'avait aucun argument pour adopter un autre modèle. Mais pour atténuer la contrainte que comportait ce modèle sans seuil, la Commission insistait toujours pour indiquer que son modèle exagérait considérablement l'effet cancérigène aux faibles doses. Ceci était un encouragement à utiliser le modèle à seuil tellement utile pour faire croire à l'innocuité totale du rayonnement aux doses faibles. Le discours de la CIPR a bien été perçu dans ce sens par tous ceux qui se déclaraient experts officiels ès radiation. On voit maintenant la valeur scientifique de cette attitude, alors que de nombreuses études convergent vers un modèle supra-linéaire. Aucun fait actuellement ne peut justifier une allusion quelconque à un modèle à seuil. Pour la leucémie où la courbe représentative comporte une forte composante quadratique à coefficient positif, on peut introduire une notion de seuil ; mais celui-ci est si faible qu'en pratique tout se passe comme s'il n'y

en avait pas. Et pourtant le discours officiel n'a pas changé. Nos experts officiels ne semblent pas avoir lu les rapports récents de la Fondation RERF officiellement chargée d'évaluer l'effet des rayonnements sur les survivants japonais. Ils ne semblent pas avoir lu non plus les derniers "statements" de septembre 1987 issus de la réunion à Côme de la CIPR qui reconnait explicitement que pour certains cancers il n'y a plus de seuil, pour les autres elle n'avance pas de modèle à seuil mais réserve à plus tard son jugement. La Commission reconnaît que le facteur de risque cancérigène a été sous-estimé mais elle n'a pas jugé utile de modifier corrélativement les doses maximales admissibles. Elle ne voit pas de raison de presser le mouvement et se réserve le droit de le faire en 1990 ! Pendant ce temps, travailleurs et population continueront à être "protégés" par un facteur de risque cancérigène reconnu totalement erroné ! La santé publique ne semble pas la préoccupation majeure de la CIPR. Il faut dire que l'opinion publique ne pèse pas lourd sur cette commission. Les médias n'ont pas rendu compte de l'importance de cette réunion de la CIPR en septembre 1987. Il est certain que si l'opinion publique ne se soucie pas des problèmes de Santé aucun effort ne sera fait par les instances internationales d'experts pour gêner le dévelopement de l'énergie nucléaire.

Nous pensons que le débat sur les faibles doses de rayonnement concerne la Santé publique et qu'à ce titre il ne doit pas être le privilège exclusif des experts. Il y a polémique sur l'importance du facteur de risque cancérigène ; nous pensons que les citoyens doivent en connaître les composantes et cela à partir de textes scientifiques. C'est pourquoi nous en avons sélectionnés quelques uns que nous avons traduits (malheureusement la quasi totalité des articles concernant la radioprotection est en langue anglaise dès lors qu'on exige une qualité scientifique correcte).

Le texte d'Edward Radford présente une évaluation récente du suivi des survivants japonais, faite à partir des données elles-même. Il montre les changements considérables qui interviennent non seulement sur la valeur numérique du facteur de risque mais aussi sur les concepts mêmes de la radioprotection (prise en compte de l'incidence des cancers non mortels dans l'évaluation du détriment des irradiations, nécessité de différencier le facteur de risque suivant divers groupes

d'âge, accroissement du risque par unité de dose pour les doses les plus faibles). Edward Radford donne un facteur de risque 8 fois plus fort que celui admis officiellement jusqu'à présent. A partir des données atuelles, le risque de mortalité par cancer serait ainsi 4 fois plus fort que celui reconnu par les experts des comités chargés de fixer les normes de radioprotection.

L'article de N. Tatabe donne quelques précisions sur les nouvelles données concernant les survivants japonais. En particulier on y voit clairement que les effets du rayonnement des bombes A ne sont pas encore terminés actuellement. Cela laisse donc prévoir que le facteur de risque cancérigène qu'on déduit de cette étude devrait encore croître dans l'avenir.

La lettre ouverte d'Alice Stewart aux membres de la Commission Internationale de Protection Radiologique résume et précise les critiques qu'elle formule à l'égard de l'étude des survivants japonais. Le groupe étudié n'est pas représentatif d'une population normale. Des précautions doivent être prises dans l'exploitation des donnée lorsqu'on veut en déduire le facteur de risque pour des populations courantes.

Le texte extrait de la Gazette Nucléaire 56/57 de décembre 1983 résume la "ténébreuse affaire" de la dosimétrie dans l'étude des survivants japonais, telle qu'on a pu l'entrevoir à partir des articles publiés dans les revues scientifiques spécialisées. Cette affaire montre avec quelle légèreté les experts officiels ont traité les problèmes de radioprotection concernant la santé publique mondiale. Il est regrettable qu'un tel scandale n'ait pas eu plus de répercussion.

La traduction de quelques extraits du compte rendu de la dernière séance plénière de la CIPR en septembre 87 à Côme montre comment cet organisme réagit (ou plutôt ne réagit pas) lorsque les données sur lesquelles il est censé s'appuyer sont modifiées par des résultats scientifiques nouveaux. Il faudra attendre quelques années dans le meilleur des cas pour que la Commission essaie de mettre à jour ses recommandations . Nous avons traduit le chapitre de ce compte rendu relatif à l'influence du rayonnement sur le dévelopement mental. C'est là un exemple flagrant d'un détriment qui n'est pas pris en compte par la CIPR pour évaluer les dommages des irradiations. Aucune indication n'est donnée qui permettrait de prévoir

dans quel sens la CIPR a l'intention de modifier ses concepts en ce qui cncerne cet effet.

L'article de Karl Morgan apporte des témoignages sur les lacunes particulièrement graves dans le fonctionnement de la CIPR. Ces témoignages proviennent d'un ancien président de la Commission Principale de la CIPR et qui de plus a été un des pionniers de ce qu'on appelle aux Etats-Unis la Physique Médicale (Health Physics).

L'article de Patrick Green est extrait d'une étude très détaillée et remarquablement bien documentée qui montre comment au début du développement des programmes nucléaires civils et militaires la CIPR envisageait son rôle en radioprotection. Il s'agissait plus pour ses membres les plus influents de protéger les promoteurs de l'énergie nucléaire que de défendre et protéger la santé publique.

Alice Stewart, dans son article sur les effets à long terme des faibles doses de rayonnements ionisants sur les travailleurs et sur la population résume les résultats importants trouvés sur le suivi des travailleurs de l'usine nucléaire de Hanford par l'équipe Mancuso-Stewart-Kneale. Les premiers résultats de cette étude publiée en 1977 ont déclenché une violente polémique (sauf en France où l'on préféra s'abstenir de tout commentaire afin d'éviter un quelconque débat). L'étude montrait que l'effet des faibles doses n'avait pas de seuil et que le facteur de risque cancérigène était au moins 10 fois supérieur à ce qui était admis par la CIPR. De nombreuses critiques furent avancées. Curieusement la quasi totalité des revues internationales spécialisées publièrent les critiques mais refusèrent de publier les réponses, elles allèrent même jusqu'à publier des critiques à des articles qui ne furent jamais acceptés pour publication ! La référence aux résultats de l'étude sur les survivants japonais était inlassablement avancée comme une véritable incantation. On a vu comment cette étude était biaisée et même se fondait sur des données totalement faussées. Les évaluations faites à partir des données récentes sur les survivants japonais montrent que le facteur de risque est plus proche des résultats de Mancuso, Stewart et Kneale que celui avancé initialement par les responsables de l'étude sur les survivants japonais. L'histoire de l'étude sur les travailleurs de Hanford est exemplaire pour comprendre les dessous de la radioprotection internationale et le pouvoir occulte des experts officiels sur la presse scientifique. De véritables listes noires furent

dressées.

Karl Morgan, dans son article sur l'évaluation du risque dû à l'exposition aux rayonnements ionisants dresse d'une façon synthétique l'historique de l'effet cancérigène des faibles doses avec ses implications pour la radioprotection.

Alice Stewart a terminé récemment une étude importante sur l'effet cancérigène du rayonnement naturel ambiant. Elle met en évidence la radiosensibilité particulièrement forte du foetus. Ceci, bien sûr, devrait être pris en compte pour déterminer les limites d'intervention en cas d'accident grave dans les installations nucléaires. Les femmes enceintes constituent un groupe à risque important pour lequel des mesures particulières devraient être envisagées dans les plans d'intervention.

Carl Johnson présente quelques études qu'il a été amené à effectuer dans le cadre de ses responsabilités de médecin Inspecteur de l' Hygiène. Il a mis en évidence que les normes dites admissibles en ce qui concerne la contamination interne par le plutonium conduisaient à un risque cancérigène particulièrement élevé et par là même inacceptable. Son activité inlassable pour mieux protéger les populations et les travailleurs contraste avec la légèreté, voire l'indifférence, des pouvoirs publics en matière de radioprotection. Le souci de protéger l'industrie nucléaire dans ses programmes militaires et civils semble avoir été la préoccupation majeure des autorités de Santé. En France nous n'avons pas d'exemple de ce genre où des responsables régionaux de la santé publique se soient inquiétés des rejets au voisinage des installations nucléaires, que ce soit à La Hague, à Marcoule ou autour des centrales nucléaires. Un texte du professeur P. Pellerin, le directeur du Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (qui dépend du ministère de la Santé) et de son adjoint J.P. Moroni, publié en janvier 1974 dans les Annales des Mines montre bien quel était le souci majeur des responsables de la Santé quand le programme français d'électronucléarisation massive fut lancé en 1974. Ces deux "responsables" reprenaient à leur compte une analyse faite par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1958 sur les "questions de santé mentale que pose l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques". Ils rappelaient l'opportunité "de ne pas développer de façon

excessive les mesures de sécurité dans les installations nucléaires afin qu'elles ne provoquent pas une anxiété injustifiée." Il ne semble pas que l'examen critique des études épidémiologiques afin d'assurer une radioprotection efficace des populations, ait fait partie des capacités de ces "responsables".

Enfin l'article de David Gee donne le point de vue d'un syndicaliste concernant les concepts qui auraient du être pris en compte pour établir une véritablle protection des travailleurs de l'énergie nucléaire. Dès l'origine tout a été fait pour minimiser le facteur de risque. Chaque fois qu'un point était discutable, les responsables officiels adoptaient une position favorable à l'industrie nucléaire au détriment des travailleurs. A aucun moment on n'a fait jouer le bénéfice du doute pour les travailleurs. Nous aurions certainement dû consacrer un chapître spécial au problème des travailleurs de l'énergie nucléaire en France et des problèmes spécifiques qui se posent.

Tous ces textes abordent le problème des effets cancérigènes des faibles doses de rayonnement mais ils n'épuisent pas le sujet de l'ensemble des effets biologiques. En effet des questions que la catastrophe de Tchernobyl a réactivées (ou aurait dû réactiver) n'y sont pas traitées. D'abord les effets génétiques. Il y a très peu de données sur ce sujet en dehors d'une expérimentation sur les animaux dont la transposition pour l'homme est particulièrement douteuse. Pourtant des données existent. Elles sont la propriété du gouvernement américain (DOE). Dans les archives concernant les 298.000 travailleurs de l'énergie nucléaire dépendant de DOE, il existe des données (probablement les seules valables) concernant l'effet du rayonnement sur la première génération issue des travailleurs qui ont été irradiés. Elles ont été enlevées au professeur Mancuso avant qu'il ait pu les exploiter. Ces données font partie du patrimoine international et à ce titre le gouvernement américain n'a aucun droit moral pour les considérer comme sa propriété. Il est particulièrement scandaleux que les experts scientifiques membres des organismes internationaux chargés de la fixation des normes de radioprotection ou de l'évaluation des études en vue de la fixation de ces normes (CIPR, OMS, UNSCEAR, Comité BEIR ...etc...) ne soient pas intervenus pour obliger le gouvernement américain à

rendre publiques les données qui concernent la santé publique du monde entier. De même les données déjà existantes sur les évacués de la région de Tchernobyl devraient permettre certaines vérifications particulièrement urgentes sur les effets génétiques du rayonnement ainsi que sur la radiosensibilité des foetus. Une action des organismes qui se disent "responsables", vis à vis du gouvernement soviétique pour que les données soient accessibles à tout chercheur indépendant, pourrait donner une crédibilité à leurs déclarations et à leurs recommandations.

Enfin la catastrophe de Tchernobyl a mis en évidence la pauvreté de nos connaissances en ce qui concerne les problèmes de la contamination interne par les divers radioéléments relâchés dans l'atmosphère par les réacteurs nucléaires en détresse. Bien plus grave est la constatation que les pouvoirs publics dans la quasi totalité des pays n'ont rien fait pour étudier sérieusement les effets des retombées de Thernobyl. L'argument est toujours le même : le rayonnement a priori ne comporte aucun danger, il n'y a donc pas lieu de procéder à de quelconques études qui ne pourraient qu'être source d'angoisse inutile pour les populations. Pour l'effet de la contamination interne par l'iode, le césium, le strontium, la sous-estimation est certaine et les pouvoirs publics ne sont pas disposés à entreprendre des études qui pourraient en faire la preuve. L'existence d'un laboratoire indépendant de mesure de la radioactivité (la CRII-RAD) a permis de mettre en évidence que les retombées radioactives de la catastrophe de Tchernobyl ont été beaucoup plus importantes que ce qu'ont prétendu les services officiels. Il est maintenant difficile aux pouvoirs publics de camoufler totalement la contamination radioactive de l'environnement. L'existence d'une **Fondation pour l'évaluation des effets biologiques du rayonnement** qui serait, comme la CRII-RAD, totalement indépendante de l'Etat et soutenue par des fonds issus de la population, permettrait de franchir une nouvelle étape. C'est probablement, pour la population dans son ensemble et pour les travailleurs le moyen le plus efficace d'empêcher que la sécurité soit sacrifiée. Cela permettrait d'établir les bases pour effectuer un bilan véritable de l'énergie nucléaire.

Résultats récents concernant les cancers radio-induits parmi les survivants japonais des bombes A

Edward P. Radford

Professeur adjoint d' épidémiologie
Université de Pittsburg

Ce texte a été présenté par E.P. Radford à la conférence sur les effets biologiques des rayonnements ionisants qui s'est tenue à Londres en novembre 1986. Cette conférence, présidée par Sir R. Southwood, membre de la très officielle institution britanique, National Radiological Protection Board, a été organisée conjointement par Friends of the Earth (UK) et Greenpeace International, sous la direction du Docteur Robin Russell Jones (FOE-UK). Les proceedings de cette conférence où "officiels" et "opposants" se sont succédés, sont publiés dans le livre "Radiation and Health" Robin Russell Jones et Richard Southwood. Ed. John Wiley and Sons, (1987).

RESUME

L'étude prospective sur les survivants des bombardements atomiques de Hiroshima et de Nagasaki utilise comme population témoin les personnes qui étaient assez loin des points d'impact pour ne pas avoir été irradiées, mais qui étaient dans les villes au moment des bombardements. Les données relatives aux doses d'irradiation sont encore en cours de révision. Les nouvelles évaluations montrent que les résultats pour les deux villes peuvent être combinés, car l'irradiation par les neutrons rapides a été faible et identique pour les deux villes. Les nouvelles doses pour les tissus sont environ la moitié de celles adoptées antérieurement. L'effet de nombreux co-facteurs pouvant affecter les taux de cancers a été évalué, par exemple l'irradiation médicale, le tabac, la maternité, le régime alimentaire, l'exposition au radon à l'intérieur des maisons.

Les données les plus récentes de l'étude appuient les conclusions suivantes :

(a) La relation dose-réponse est compatible avec une ligne droite passant par l'origine, même pour le groupe des doses les plus faibles (environ 3 rad) ;

(b) La sensibilité à l'induction de cancers varie considérablement suivant les tissus irradiés ;

(c) La plupart des cancers montrent un effet du rayonnement encore croissant 40 ans après l'irradiation ;

(d) A Hiroshima on constate encore un petit excès de leucémie parmi ceux qui ont été irradiés ;

(e) L'excès de cancers de la thyroïde est actuellement en régression ;

(f) L'effet du tabac s'ajoute à celui du rayonnement pour l'incidence des cancers du poumon ;

(g) Certaines tumeurs bénignes sont corrélées au rayonnemnet

(h) Les enfants qui avaient moins de 10 ans au moment des bombardements présentent actuellement pour les cancers le risque relatif le plus fort, comparés aux autres survivants à des âges identiques. Si ce dernier effet persistait, il serait nécessaire d'introduire des coefficients spécifiques de l'âge pour le risque cancérigène. Pour les jeunes enfants irradiés il pourrait être assez élevé.

L'étude sur les survivants des bombardements atomiques de Hiroshima et Nagasaki se poursuit depuis 40 ans, c'est l'étude prospective la plus vaste jamais entreprise en épidémiologie humaine. Pour définir les effets des faibles doses de rayonnements, l'étude des survivants des bombes A est particulièrement importante, car elle concerne un groupe de personnes de tous âges et des deux sexes qui étaient raisonnablement en bonne santé avant l'irradiation. Parmi les survivants identifiés en 1950 et qui ont été inclus dans la population étudiée, la dose moyenne aux tissus pour ceux qui ont été exposés à 1 rad ou plus, est environ 20 rad. Ainsi beaucoup de résultats sont spécialement utilisables pour les effets des faibles doses de rayonnement, contrairement à l'opinion habituelle selon laquelle les résultats issus de l'étude sur les survivants des bombes A concernent essentiellement les fortes doses.

Jusqu'à une époque récente, on pensait que le type d'irradiation était significativement différent pour les deux villes. A Hiroshima, la bombe à uranium 235 était supposée avoir produit une plus forte proportion de neutrons rapides au point d'impact que la bombe de Nagasaki au plutonium 239. Les réévaluations les plus récentes de la dosimétrie [1,2] ont cependant indiqué que la répartition des neutrons rapides en fonction de la distance au point d'impact était sensiblement la même pour les deux villes. Les doses de rayonnement gamma dans l'air continuent à être sensiblement plus fortes à Nagasaki qu'à Hiroshima pour des distances équivalentes. Les neutrons sont maintenant en trop faibles quantités dans les deux villes pour fournir des bases sûres pour attribuer les différences observées à la qualité des irradiations.

De plus, le blindage que constituaient, pour les rayons gamma, les maisons et autres bâtiments où la plupart des survivants se trouvaient au moment de l'irradiation avait été initialement sous-estimé. Le nouveau système de dosimétrie conduit à une réduction des doses (d'environ un facteur 2) par suite de la réduction de la dose neutron et l'augmentation du blindage pour les rayons gamma.

Avec cette nouvelle dosimétrie, la relation dose/réponse pour les cancers induits par le rayonnement est très voisine pour les deux villes (à environ 3 % près). Ainsi les résultats des deux villes peuvent être combinés, ce qui conduit à une amélioration statistique de l'estimation du risque cancérigène.

La population étudiée par la Radiation Effects Research Foundation (RERF, Fondation pour la recherche sur les effets du rayonnement) afin évaluer les effets à long terme des rayonnements ionisants, est l'échantillon de la "Life Span Study", dite LSS (étude qui s'étend sur toute la durée de vie de tous les individus de la cohorte). Le suivi de cet échantillon commença en octobre 1950. L'échantillon LSS comprend des personnes qui vivaient à Hiroshima ou Nagasaki au moment du recensement des survivants des bombes A, effectué par le gouvernement japonais en 1950. Tel qu'il a été défini à l'origine, l'échantillon comprenait :

(1) La plupart des personnes en vie à cette époque et qui, à l'instant du bombardement de l'une ou l'autre ville, étaient à moins de 2.500 mètres de l'impact ;

(2) Un échantillon de personnes qui étaient entre 2.500 et 10.000 mètres de l'impact à l'instant du bombardement ;

(3) et un échantillon de personnes qui n'étaient pas en ville ou qui étaient au-delà de 10.000 mètres.

Les deux derniers échantillons furent obtenus en les appariant par sexe et age avec un groupe de survivants qui étaient à moins de

2.000 mètres de l'impact dans chaque ville. L'échantillon d'origine a été étendu récemment (en 1982) en y adjoignant environ 11.400 résidents de Nagasaki faiblement irradiés (2.500 à 10.000 mètres) pour lesquels les données complètes du suivi étaient disponibles. Telle qu'elle est habituellement définie et en excluant ceux qui n'étaient pas dans les villes au moment des bombardements, la population totale étudiée comprend actuellement 93.614 personnes (61.911 pour Hiroshima et 31.703 pour Nagasaki. Environ un tiers de ces personnes sont mortes entre 1950 et 1982. L'analyse des données utilise comme groupe de contrôle (population non exposée) ceux qui étaient à 3.000 mètres et au-delà des points d'impact (donc ceux dont les doses étaient inférieures à 0.5 rad).

Un sous-ensemble important de l'étude LSS est constitué par la population de l'étude sur la santé des adultes (cette étude est dite AHS : Adult Health Study) pour laquelle des évaluations cliniques ont été effectuées de façon extensive et continue depuis 1958 . Ce groupe a été sélectionné de façon à comporter une grande proportion d'individus fortement irradiés et un échantillon aléatoire de survivants ayant reçu des doses plus faibles. En 1958 un total de 19.962 personnes furent sélectionnées parmi l'ensemble complet tel qu'il était alors défini. Parmi elles, 16.738 ont été examinées au moins une fois avant la fin de 1978. En 1977 un groupe de 2.436 personnes a été ajouté au sous-groupe AHS initial et plus de 60 % d'entre elles ont été examinées une fois dans les quatre ans qui suivirent. Toutes les personnes du sous-groupe AHS qui vivaient dans les deux villes ou dans leur voisinage ont été incitées à venir tous les deux ans faire évaluer d'une façon détaillée leur état de santé, ce qui incluait une histoire médicale, un examen, des mesures en laboratoire et des études cliniques spéciales si cela était nécessaire. Cette population a été utile pour détecter les effets du rayonnement sur la fréquence des tumeurs bénignes en fonction des doses reçues.

Les données de mortalité pour le groupe LSS ont été obtenues par des vérifications périodiques du système japonais des bureaux locaux d'enregistrement familial (Honseki). Ces bureaux archivent des évènements de la vie familiale tels que naissances, mariages, morts, etc,

et chaque dossier des membres vivants du groupe étudié (Koseki) est examiné périodiquement pour déterminer sa situation. Chaque fois qu'on trouve le dossier d'une personne décédée, on obtient la date et la cause de la mort à partir des statistiques de mortalité au Centre Sanitaire du lieu du décès ; la cause de la mort signalée par ces centres est obenue à partir des certificats de décès. Par suite de la nature complète du système Koseki, la vérification des décès est considérée comme pratiquement totale pour tous les sujets résidant au Japon. Les risques liés à l'utilisation des certificats de décès pour l'établissement des causes primaires de mort rapportées par les certificats de décès et les diagnostics obtenus par autopsie [3] a révélé que les taux de confirmation et de détection varient considérablement suivant le type de cancer. La précision des certificats de décès de la population LSS s'est avérée bonne pour les néoplasmes de certains organes tels que les seins, l'estomac et pour la leucémie. Mais pour les autres, tels que les poumons, les voies urinaires, le foie et le système biliaire, le pancréas et la prostate, les données issues de certificats de décès sous-estiment considérablement la présence des cancers [4]. Cette sous-estimation conduit à une sous-estimation équivalente des risques associés à l'irradiation.

L'information sur l'incidence des cancers peut être obtenue à partir des registres des tumeurs établis dans les deux villes par les sociétés médicales locales depuis la fin des années 50. Jusqu'à présent, l'enregistrement des cas sur les registres des tumeurs est considéré comme bon pour les deux villes. Les registres mentionnent uniquement les cas relatifs aux personnes qui résident dans les villes au moment des diagnostics. Il y a donc un enregistrement incomplet des cas relatifs à la population de l'étude LSS des survivants à cause des migrations hors des villes. Ceci pose problème, en particulier pour ceux qui étaient jeunes au moment des bombardements. Les données provenant de la population échantillonnée pour l'étude de la santé des adultes (AHS) indiquent que, depuis 1958, le nombre des départs a été faible (quelques pour cent seulement). Cependant, avant cette date, environ 10 % de tous ceux qui vivaient en ville étaient partis. 20 % du groupe des jeunes pourraient avoir quitté les villes avant 1958. Tokunaga et al.

[5] ont mis en évidence que parmi les femmes AHS, les taux de migration étaient indépendants des doses. Comme la plupart de ceux qui sont partis se sont installés dans les grandes villes de Honshu et Kyushu, il serait possible de les retrouver sur les registres de ces villes afin de porter l'identification des incidences de cancers à près de 100 %.

Les données relatives à l'incidence des cancers ont l'avantage d'être introduites dans l'étude au moment des diagnostics, souvent plusieurs années avant que l'issue fatale soit trouvée dans les archives des certificats de décès. Non seulement il peut y avoir un retard substantiel entre le diagnostic et la mort, mais parfois il peut s'écouler jusqu'à deux ans entre le moment de l'enregistrement du certificat de décès et celui où il est détecté dans le système Koseki. Or, le délai d' identification des certificats de décès est particulièrement important car, dans l'étude LSS, les cas de cancers s'accumulent rapidement et les preuves d'effet du rayonnement lié aux doses augmentent.

Un autre facteur important de l'utilisation des registres des tumeurs est le fait que les cas sont enregistrés indépendamment de l'issue. Ainsi l'information concernant les cancers non fatals et certains types de tumeurs bénignes peut être obtenue à partir des registres. Ceci est particulièrement important pour les cancers de la thyroïde et des seins qui sont radiosensibles, mais peu fréquemment fatals. La radiosensibilité des cancers de la prostate est incertaine, car l'identification des cancers de la prostate à partir des certificats de décès est mauvaise au Japon. Les données provenant des registres des tumeurs fournissent une meilleure identificationn, elles indiquent un effet lié à la dose (6). Finalement, on doit souligner que l'utilisation des incidences de cancer comme base pour définir les risques cancérigènes donne une indication sur les effets du rayonnement qui est généralement plus significative en terme de coût social que la seule mortalité par cancers . Les cas d'incidence ne sont pas encore complètement analysés pour la période qui s'étend jusqu'en 1982. C'est pourquoi la préoccupation principale de ce rapport portera sur l'évaluation de la mortalité.

De nombreux paramètres domestiques ou environnementaux, tels que l'usage du tabac, le régime alimentaire, la situation socio-économique, l'histoire des maternités, la profession et bien d'autres détails, ont été collectés, à divers moments entre 1963 et 1981, par une série d'entretiens et de correspondances pour des sous-groupes importants de la population LSS. Ces données ont été utiles pour tenir compte des facteurs autres que l'irradiation par les bombes A et qui pourraient affecter les risques cancérigènes. Un important facteur potentiel de confusion est l'irradiation médicale par rayons X.

L'évaluation de cette source additionnelle de rayonnement pourrait être importante pour les analyses futures des données, en particulier pour les sujets qui ont été soumis à une radiothérapie pour des traitements relatifs à des maladies non malignes. Une étude faite dans les hôpitaux dans la région d'Hiroshima et sur la population AHS indique que l'irradiation cumulée moyenne de la moelle osseuse et des gonades depuis 1945 a été inférieure à 2 rad pour les diagnostics par rayons X [7]. En ce qui concerne la radiothérapie, des doses locales supérieures à 1 000 rad ont été reçues par environ 2 000 personnes de la cohorte LSS des survivants [8]. Environ 65 % de cette radiothérapie a été effectuée pour des cancers, ainsi, pour ce groupe, l'intérêt principal est la possibilité de nouvelles tumeurs malignes primaires liées à la radiothérapie.

Résultats récents

Une analyse préliminaire des données de mortalité jusqu'en 1982 a été faite en utilisant les estimations les plus récentes de la dosimétrie révisée disponible en 1986. La figure 1 montre la courbe de dépendance en fonction de la dose pour tous les néoplasmes malins autres que la leucémie, pour la période 1955-1982, et les deux villes combinées. Le risque relatif par rapport au groupe à dose nulle est porté sur le graphique en fonction de la dose moyenne des tissus. Pour calculer les doses, un facteur de qualité de 10 a été pris pour les neutrons et les doses tissus ont été calculées en supposant une valeur constante 0.7

pour la transmission des tissus [9].

Le groupement des cas en catégories suivant les niveaux de dose sur la base de l'ancienne dosimétrie a été corrigé pour tenir compte des nouveaux changements, mais il y aura quelques modifications individuelles à faire par suite de la nouvelle dosimétrie. Les résultats pourraient donc être modifiés par une analyse ultérieure. La période 1950-1954 a été exclue, car pour les cancers autres que la leucémie, les personnes, durant les 5 à 10 ans qui suivent l'irradiation, ont des risques faibles de radio-induction de cancers par suite de la période de latence minimum nécessaire pour le développement des tumeurs solides.

Un certain nombre de points peuvent être tirés de la figure 1. Tout d'abord pour les 4 groupes des doses les plus faibles, la relation est très proche d'une ligne droite passant par le point à 3 rem. Pour les doses plus fortes il y a des indications montrant que certaines personnes peuvent avoir été mal classées en ce qui concerne les doses, il y a des gens pour lesquels le blindage constitué par les bâtiments ou les matériaux peut avoir été déterminant pour leur survie, et pour qui l'estimation de l'effet du blindage est moins précise. Si on utilise une équation de la forme $E = aD + bD^2$ pour représenter les résultats, où **E** est l'excès relatif des cancers, **D** la dose et **a** et **b** deux constantes, on trouve que le coefficient b est négatif. En d'autres termes, la meilleure représentation de l'équation est une courbe dont la concavité est tournée vers le bas. Ceci implique que l'effet par unité de dose est plus fort aux faibles doses qu'aux doses élevées. Les deux points aux doses les plus faibles, 3 et 16 rem, correspondent à 2 606 cas parmi les 3 383 observés, c'est-à-dire 77 % de tous les décès par cancers observés parmi tous les groupes ayant reçu des doses supérieures ou égales à 1 rem. De plus, ces groupes qui correspondent à des emplacements, lors des explosions, plus éloignés de l'impact des bombes, ont une dosimétrie plus fiable, car elle est moins sensible aux erreurs de position ou de blindage que celle des groupes exposés à des doses plus élevées. En 1982, le groupe des doses les plus faibles présente un risque relatif supplémentaire de cancers de 3.26 % pour une dose moyenne aux tissus d'environ 3 rem. Ceci correspond à une dose

de doublement (dose nécessaire pour doubler la mortalité par cancer) de 92 rem pour tous les cancers à l'exception de la leucémie . Pour le second groupe, le risque relatif supplémentaire est de 9.14 % pour une dose moyenne d'environ 16 rem, soit une dose de doublement de 175 rem environ. Si nous groupons les données de ces deux points, la dose moyenne (pondérée) est de 7.4 rem et la dose de doublement est de 138 rem. En regroupant les résultats pour les 5 groupes restant aux fortes doses, la dose moyenne pondérée est de 94 rem (777 morts par cancers observées), la dose de doublement est d'environ 315 rem.

Le fait que la dose de doublement soit plus faible aux doses les plus petites est l'expression de la courbure vers le bas de la représentation graphique des données.

Quand on examine les sites individuels des cancers parmi les survivants des bombes A, le risque relatif supplémentaire dû au rayonnement rapporté au risque cancérigène du groupe à dose nulle est assez variable. Ceci indique que certains types de cancer peuvent être, plus facilement que d'autres, induits par le rayonnement. Une partie de ces variations de la mortalité par cancers peut dépendre des erreurs commises dans les certificats de décès. Le problème est particulièrement sensible au Japon pour les cancers de la prostate, du col de l'utérus, du pancréas, du foie et du système biliaire [4].
Par exemple, les morts certifiées par cancer de la prostate ou du pancréas sont indépendantes des doses jusqu'en 1982. Mais on a mis en évidence une corrélation positive, à partir des registres des tumeurs, entre les doses et les cancers de la prostate et du pancréas. Malgré cet effet, il est évident que les cancers de la thyroïde (incidence), la leucémie, le cancer du sein, des voies urinaires, du poumon, et le myélome multiple sont parmi les plus sensibles au rayonnement chez les survivants des bombes A. Il faut remarquer que la possibilité de détecter un effet dépend de la fréquence du cancer que l'on observe. Pour les cancers rarement diagnostiqués au Japon, tels que les cancers des os ou la maladie d'Hokgkin, on ne peut détecter un effet du rayonnement, car le nombre de cas observés est trop faible.

La figure 2 montre la courbe pour les morts par leucémie pour la période comprise entre 1950 et 1982. Il y a seulement 158 morts répartis parmi les sept groupes suivant les doses, ainsi la fiabilité statistique de chaque point est beaucoup moins bonne que pour les points de la figure 1. Néanmoins la courbe indique une relation curvilinéaire assez différente de celle trouvée à la figure 1. Les doses faibles sont moins efficaces par unité de dose que les fortes doses. Il faut remarquer cependant que les risques relatifs indiqués pour les ordonnées de la figure 2 sont très élevés. Si on trace une ligne droite pour les 4 points correspondant aux doses les plus faibles et l'origine, on trouve une dose de doublement de 35 rem pour tous les groupes d'âges combinés.

L'examen de l'évolution du risque relatif pour des périodes de 4 ans depuis 1950 montre que l'excès de leucémie par rem décroît régulièrement depuis 1958, bien qu'un risque relatif égal à 2 environ (5 cas observés pour 2.7 attendus) ait été trouvé pour la période 1979-1982 pour ceux qui ont reçu des doses aux tissus supérieures à 20 rem.

Par contre, pour les cancers autres que la leucémie, le risque relatif par rem pour la population exposée croît continûment pendant la période 1959-1982 et est le plus élevé pour la période 1975-1982. D'une façon générale, il n'y a aucune indication d'une diminution de l'excès du risque relatif de mortalité par cancer jusqu'en 1982, trente-sept ans après l'irradiation. Pour certains cancers particuliers outre la leucémie, il apparaît cependant une diminution du risque avec le temps. L'incidence des cancers de la thyroïde par rem commence à diminuer, il en est de même pour le myélome multiple, bien que le nombre de cas, 35, soit trop faible pour qu'on en ait la certitude.

L'excès de risque relatif par rem pour tous les cancers, leucémie exceptée, est environ 2 fois plus élevé pour les femmes que pour les hommes. Cette différence est largement due au fait que les femmes, en comparaison avec les hommes, présentent naturellement des taux de mortalité par cancers plus faibles pour les diverses classes d'âge. En valeur absolue, il y a peu de différence suivant le sexe pour les excès de mortalité par cancer par rem, bien qu'il y en ait une lorsqu'on fait

l'analyse des incidences de cancer à cause des cancers du sein et de la thyroïde (cancers qui ont un fort taux de survie) chez les femmes. Pour la leucémie, il n'y a pas de différence suivant le sexe pour le risque relatif par rem, mais en valeur absolue, le risque est environ deux fois plus élevé pour les hommes.

Un résultat important du suivi continu de cette population concerne l'effet de l'âge au moment de l'irradiation sur le risque cancérigène. Les survivants qui avaient moins de 10 ans au moment des bombardements atteignent maintenant des âges où les cancers apparaissent plus fréquemment et il est ainsi possible de commencer à déterminer l'excès de risque à un âge donné par rapport à ceux qui étaient plus vieux au moment des bombardements. Quand on procède ainsi, il est évident que l'excès de risque relatif est en général significativement plus élevé pour ceux qui ont été irradiés pendant leur jeune âge. Pour 1982, l'excès de risque relatif par rem pour les enfants qui avaient moins de 10 ans au moment des bombardements est environ 8 fois plus élevé pour tous les cancers, leucémie exceptée, que pour ceux qui avaient plus de 35 ans au moment des bombardements. Il est possible que cette différence suivant l'âge lors de l'irradiation diminue quand les taux de cancer augmentent aux âges plus avancés, mais si l'on trouvait que ce plus fort excès du risque relatif parmi ce groupe persiste durant toute leur vie, il apparaîtrait que les enfants ont un risque spécial de développer des cancers radio-induits. Pour la leucémie, l'excès de risque relatif est maintenant à peu près défini pour tous les groupes d'âge ; il est 4 fois plus élevé pour ceux qui avaient moins de 10 ans pendant les bombardements que pour ceux qui avaient plus de 35 ans. En réunissant tous les sous-groupes par doses en un seul groupe, on trouve que la dose de doublement pour la leucémie est d'environ 4 rem pour les enfants irradiés avant l'âge de 10 ans. Un effet similaire de l'âge lors de l'irradiation a été mis en évidence pour l'incidence des cancers du sein chez les femmes irradiées avant l'âge de 10 ans [5].

En ce qui concerne les facteurs additionnels personnels ou dus à l'environnement, qui pourraient interagir avec le risque cancérigène du

rayonnement (on s'attend à ce que la contribution des facteurs répartis au hasard réduise l'effeet apparent du rayonnement), il n'a pas été trouvé, pour la plupart d'entre eux, qu'ils modifient d'une façon significative les effets du rayonnement. Dans le cas de la consommation de cigarettes et du cancer des poumons, une évaluation par cas et contrôles des cancers des poumons a montré que les effets du tabac et du rayonnement s'ajoutaient à peu près. Ainsi, pour les femmes, dont la plupart ne fument pas, l'excès en valeur absolue des cancers du poumon lié à l'irradiation était environ le même que pour les hommes qui, pour la plupart, étaient des fumeurs. Les femmes non exposées au rayonnement ont un taux de cancer du poumon faible, ainsi l'excès en valeur relative dû au risque du rayonnement est beaucoup plus élevé que pour les hommes dont les taux de cancer du poumon sont élevés à cause de l'usage du tabac parmi ceux qui ont été irradiés.

Les analyses de mortalité ne détectent pas correctement les tumeurs bénignes parce qu'elles ne sont généralement pas enregistrées comme cause primaire de décès. Il a été possible de déterminer les tumeurs bénignes dans l'échantillon de population AHS examiné tous les deux ans dans la clinique de la Fondation (RERF).

Les tumeurs bénignes qui montrent une corrélation avec les doses de rayonnement reçues par cette population comprennent les polypes gastriques, les fibromes utérins et les maladies non malignes de la thyroïde [10]. La possibilité d'une relation entre ces tumeurs bénignes et le développement ultérieur d'un cancer sur ces sites est intéressante à considérer.

En résumé, le suivi des survivants des bombes A continue à apporter d'importants résultats. Les nouvelles données indiquent que le risque par rem pour les cancers induits par le rayonnement est plus élevé qu' on ne le pensait auparavant pour les raisons suivantes :

(a) La nouvelle évaluation des irradiations montre que les doses avaient été initialement surestimées, ainsi il est maintenant évident que les

cancers en excès ont été produits par des doses de rayonnement plus faibles ;

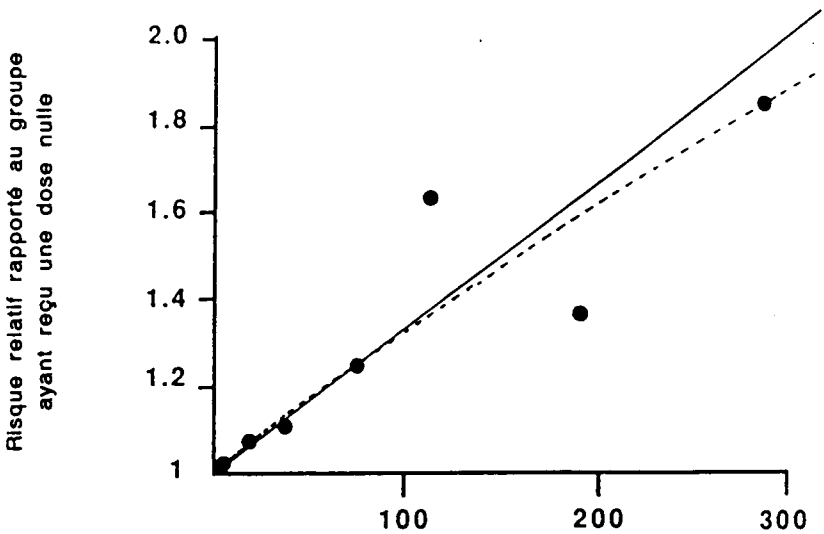
(b) Pour la plupart des cancers, l'excès du risque relatif continue à augmenter avec le temps ;

(c) Quand on fait la comparaison pour les mêmes âges atteints, ceux qui ont été irradiés dans leur jeune âge montrent un risque relatif de cancers par rem plus élevé que ceux qui étaient plus âgés au moment de l'irradiation . La relation linéaire entre la dose et l'excès de cancers se vérifie bien pour tous les cancers, sauf la leucémie. Les résultats suggèrent qu'aux faibles doses, le risque relatif pour tous les cancers, y compris les leucémies, s'accroît environ de 0.75 % par rem, ce qui est équivalent à une dose de doublement de 133 rem. Il est probable que ce coefficient de risque relatif sera trouvé dépendant de l'âge au moment de l'irradiation avec un excès du risque de cancer de 2 % pour ceux qui ont été irradiés avant l'âge de 10 ans.

En se fondant sur ces résultats et sur le taux normal des cancers spontanés au Japon (environ 60 % du taux trouvé dans les pays occidentaux), le risque absolu pour la durée totale de la vie est au moins égal à un cancer (incident) pour 1.000 personnes exposées à tous âges à 1 rem, et substantiellement plus élevé pour les enfants irradiés.

Remerciements

Une partie de la section sur les méthodes a été prise dans "Methods for study of delayed health effects of A-Bomb radiation" (Méthodes pour l'étude des effets retardés sur la santé produits par le rayonnement des bombes A) par E.P. Radford, D. Preston et K.J. Kopecky, GANN Monograph on Cancer Research 32 : 75-87, 1986.
Je dois aux docteurs Dale Preston et Kenneth J. Kopecky les données non publiées sur lesquelles ce papier est fondé. Les déclarations et les conclusions dans ce texte sont celles de l'auteur seul et ne sont pas représentatives d'une organisation quelconque.



Dose moyenne aux tissus (rem)
(Estimation d'après la nouvelle dosimétrie)

Figure 1: Mortalité par cancers dans la population LSS en fonction de la dose moyenne aux tissus en rem pour tous les cancers, sauf la leucémie. Les données correspondant à la période 1955-1982, pour les deux villes et les deux sexes combinés et l'ensemble de tous les âges.

En ordonnées: le risque de cancers rapporté au groupe non exposé. Les doses sont estimées à partir du nouveau système de dosimétrie avec un facteur de qualité de 10 pour les neutrons.

En ligne pleine: la ligne droite qui passe par l'origine et qui représente le mieux les données. En ligne pointillée la courbe qui représente l'équation: Effet = $aD + bD^2$ où D est la dose et a et b sont des constantes. La courbure vers le bas indique que le coefficient b est négatif.

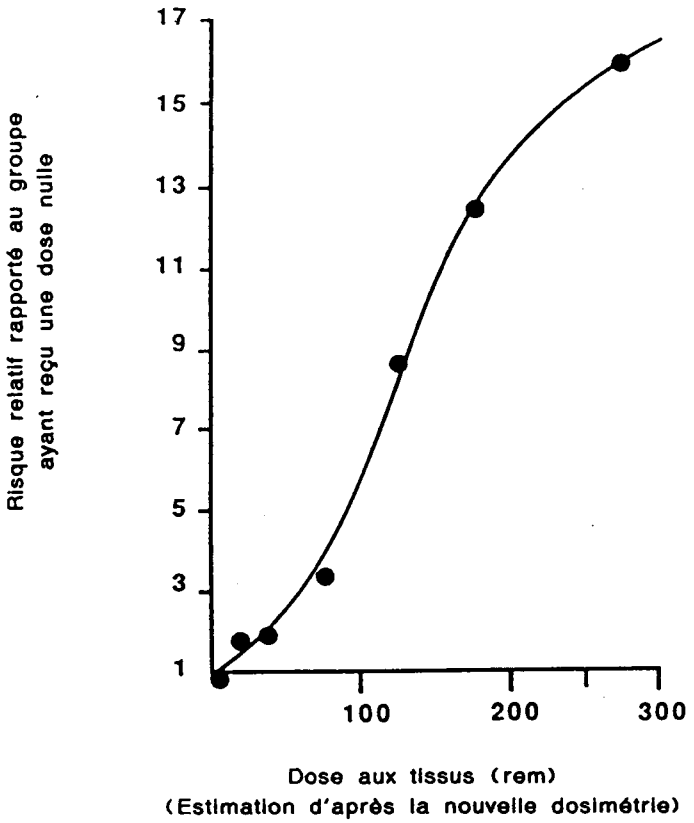


Figure 2: Morts par leucémie dans la population LSS en fonction de la dose moyenne aux tissus en rem. Les données correspondent à la période 1950-1982 pour les deux villes et les deux sexes combinés et l'ensemble de tous les âges. Les ordonnées et les abscisses sont identiques à celles de la figure 1. La ligne pleine a été tracée à l'oeil pour représenter au mieux les données.

REFERENCES

1. G. D. Kerr, J. V. Pace III and W. H. Scott, Jr. 'Tissue kerma vs. distance relationships for initial nuclear radiation from the atomic bombs, Hiroshima and Nagasaki' (1983). In *Reassessment of Atomic Bomb Dosimetry*, pp. 57–103. RERF, Hiroshima, 1983.
2. W. A. Woolson, M .L. Gritzner and S. D. Egbert, *Atomic Bomb Survivor Dosimetry*. Report to RERF, Dec. 1984.
3. A. Steer, I. M. Moriyama and K. Shimizu, The autopsy program and the life span study, January 1951–December, 1970. *ABCC Tech. Rep. 16-73* (1973).
4. E. P. Radford, A comparison of incidence and mortality as a basis for determining risks from environmental agents, in *Proc. of the 20th Annual Meeting of the National Council on Radiation Protection and Measurements*, pp. 75–88, NCRP, Bethesda, Md. (1985).
5. M. Tokunaga, C. E. Land, T. Yamamoto, M. Asano, S. Tokuoka, H. Ezaki and I. Nishimori, Incidence of female breast cancer among atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki, 1950–80. *RERF Tech. Rep. 15-84* (1984).
6. T. Wakabayashi, H. Kato, T. Ikeda and W. J. Schull, Studies of the mortality of A-bomb survivors, Report 7. Part III. Incidence of cancer in 1959–78, based on the Tumor Registry data, Nagasaki, *Radiat. Res.*, 93, 112–46 (1983).
7. W. Sawada, C. E. Land, M. Otake, W. J. Russell, K. Takeshita, H. Yoshinaga and Z. Hombo, Hospital and clinic survey estimates of medical x-ray exposures in Hiroshima and Nagasaki. Part I, RERF population and the general population. *RERF Tech. Rep. 16-79* (1979).
8. J. A. Pinkston, S. Antoku and W. J. Russell, Malignant neoplasms among atomic bomb survivors following radiation therapy. *Acta Radiol. Oncol.*, 20, 267–71 (1981). (Also personal communication, W. J. Russell, 1984.)
9. G. D. Kerr, K. F. Eckerman, J. S. Tang, J. C. Ryman and M. Cristy, Organ dosimetry, in *Reassessment of Atomic Bomb Dosimetry*, pp. 79–82. RERF, Hiroshima, (1983).
10. H. Sawada, K. Kodama, Y. Shimizu and H. Kato, RERF Adult Health Study Report 6: Results of six examination cycles, 1968–1980. Hiroshima and Nagasaki. *RERF Tech. Rep.*, in preparation.

Une estimation du risque relatif au rayonnement gamma pour les survivants des bombes A,

fondée sur les données épidémiologiques les plus récentes et la dosimétrie révisée

Nobotu Tatabe

Momodani High School
Osaka Japon

Cet article est paru dans "International Perspectives in Public Health" 1987, vol.3, issue 1. Cette revue scientifique indépendante est éditée par Rosalie Bertell, International Institute of Concern for Public Health, Toronto, Ontario, Canada.

INTRODUCTION

Une série d'études épidémiologiques sur les survivants des bombes A montre que, parmi eux, les décès par cancers induits par le rayonnement ont augmenté d'année en année [1, 2, 3]. Si le taux de mortalité par leucémie continue de décroître depuis le pic trouvé en 1950-1954, les décès par les autres cancers ont augmenté depuis 1960 (table 1). Kato et Schull ont signalé que les rapports des excès de décès à Hiroshima et Nagasaki, pour les périodes 1975-1978 et 1971-1974 étaient de 2,0 et 6,3 respectivement pour l'ensemble des cancers, hormis la leucémie [3].

Jusqu'ici le système de dosimètrie T65 a été utilisé pour évaluer les doses individuelles reçues par les survivants des bombes A. Récemment, cependant, les doses ont été réévaluées par plusieurs groupes, par exemple Loewe et Mendelsohn du LLNL et Kerr du ORNL. Les études LLNL et ORNL semblent donner des doses plus acceptables que celles dérivant de T65D.

Les deux résultats mentionnés plus haut affecteront sérieusement l'estimation du risque pour les survivants des bombes A. Dans le travail présenté ici, nous avons réestimé le risque de décès par leucémie et par autres cancers pour le rayonnement gamma en utilisant les données épidémiologiques les plus récentes, ainsi que la dosimétrie corrigée.

METHODE

Le risque a été calculé par une régression linéaire à partir des courbes dose/réponse. Nous avons, pour nos calculs, utilisé les données épidémiologiques de la période 1950-1978 (table 2) et la dosimétrie révisée par le LLNL (table 3) [6].

Comme les facteurs d'atténuation par les maisons et les tissus du corps humain n'ont pas encore été révisés, nous avons supposé que ces facteurs étaient égaux à ceux calculés dans T65D et nous avons utilisé les facteurs de reconversion du kerma (NdT : Energie cinétique perdue dans la matière) à la dose indiquée par Kerr (table 4) [7]. Les équivalents de dose à la moelle et pour le corps entier ont été calculés en supposant pour les neutrons un facteur de qualité égal à 10.

RESULTATS

Le taux de mortalité observé pour la leucémie est indiqué en fonction de l'équivalent de dose à la moelle sur la figure 1. Pour tous les cancers autres que la leucémie, le taux de mortalité est indiqué en fonction de l'équivalent de dose pour le corps entier, sur la figure 2. Sur ces graphiques, on peut voir que les deux taux de mortalité augmentent linéairement avec les équivalents de dose.

D'après la pente de la droite de la **figure 1**, on trouve que le taux moyen annuel de mortalité par leucémie induite par le rayonnement est de 3,4 par an pour un million de personnes et par rem pendant la période 1945-1950. On peut estimer le risque cumulé pour les leucémies induites par le rayonnement pendant 33 ans (de 1945 à 1978), à environ 110 morts par leucémie par million de personnes et par rem.

De la relation linéaire qui apparaît sur la **figure 2**, on déduit le taux moyen annuel de mortalité par tous cancers autres que la leucémie, induits par le rayonnement, 7,7 pour la période de 1950-1978. Ceci conduit à un risque cumulé pour la période de 1950-1978 de 220 morts par cancer par million de personnes et par rem (table 5).

Comme nous le voyons sur la **figure 3**, l'excès de mort par cancer augmente au fil des années. Cette tendance indique qu'il faut s'attendre à un nombre considérable de décès par cancers dans les années à venir. Par conséquent, pour obtenir un facteur de risque raisonnable, on doit prendre en compte les morts par cancers qui se

produiront dans le futur. Si l'on suppose que l' excès des décès par cancers obéit à une fonction de distribution gaussienne et que la période de latence médiane est de 33 ans (1945-1978), l'excès cumulé de décès par cancers s'élève à 450 par million de personnes et par rem. La somme des risques pour la leucémie et les autres cancers est ainsi d'environ 550 morts par million de personnes et par rem. Nous avons fait nos calculs avec diverses valeurs pour le facteur de qualité du neutron allant de 1 à 20, mais les résultats ne changent guère.

DISCUSSION

Les valeurs des facteurs de risque obtenues dans cette étude sont 110 et 450 morts par million de personnes et par rem, respectivement pour la leucémie et tous les autres cancers. Ces valeurs sont environ 6 fois plus fortes que celles proposées par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) [8].

Cet écart est partiellement dû à l'utilisation de la dosimétrie révisée du LLNL à la place de T65D. Jusqu'à présent, la moitié environ de l'excès des décès par cancers parmi les survivants de Hiroshima a été attribué aux neutrons, alors que le risque dû au rayonnement gamma était estimé à partir des données relatives aux survivants de Nagasaki car le rayonnement à Hiroshima d'après T65D comportait une quantité considérable de neutrons, tandis qu'à Nagasaki, il était à peu près entièrement composé de rayons gamma. Cependant, suivant la dosimétrie révisée par LLNL, la quantité de neutrons est réduite d'une façon significative pour les deux villes, et spécialement pour Hiroshima.

De plus, la quantité de rayonnement gamma est réduite à Nagasaki, tandis qu'elle est augmentée à Hiroshima. Il en résulte, si le facteur de qualité du neutron est 10, que la contribution des neutrons pour la dose à la moelle est inférieure à 20 % à Hiroshima. Ainsi, en utilisant les nouvelles estimations de dose, le risque de leucémie augmente de 70 % par rapport à celui déduit de la dosimétrie T65D.

Une autre cause contribue aux écarts mentionnés plus haut, la différence des périodes d'observation prises en compte. En utilisant les statistiques sur les survivants des bombes A pour la période 1950-1978, la CIPR a estimé que le risque de leucémie était de 20 décès par million de personnes et par rad [9]. Comme les excès de décès survenus entre 1959 et 1978 sont à peu près égaux à ceux survenus entre 1950 et 1978, l'utilisation des dernières données épidémiologiques conduit à un risque, pour la mortalité par leucémie, deux fois plus élevé que celui donné par la CIPR.

Suivant nos résultats, le modèle linéaire sans seuil pour la représentation des effets en fonction de la dose s'applique non seulement pour les décès par leucémie, mais aussi pour les décès par les autres cancers. Ces résultats montrent que les modèles qui comportent des termes quadratiques sont inadéquats pour estimer le risque des faibles doses de rayonnement et ne devraient pas être utilisés.

La valeur du facteur de risque pour la mortalité par la totalité des cancers, obtenue par notre analyse, est approximativement égale à la moitié de celle proposée par Mancuso et al. [10]. Cet écart pourrait être dû, au moins partiellement, aux raisons suivantes :

1) Nous avons supposé que l'absorption du rayonnement par les habitations et les tissus du corps est celle calculée à partir de T65D. Comme cette absorption sera augmentée dans la révision par LLNL, le facteur de risque résultant augmentera.

2) Nous avons supposé une valeur médiane de 33 ans pour les périodes de latence. Cependant, cette valeur devrait être considérée comme étant la plus courte. Une période de latence plus longue qui conduirait à un facteur de risque plus élevé, ne peut pas être exclue.

Si nous tenions compte des facteurs mentionnés ci-dessus, le facteur de risque obtenu à partir des données sur les survivants des bombes A deviendrait plus compatible avec celui proposé par Mancuso et al. à partir de l'étude sur les travailleurs sous rayonnement.

Figure 1

Taux annuel de mortalité par leucémie en fonction de la dose à la moelle (en rem), facteur de qualité du neutron Q = 10, (-●-) pour 1950-1970, (-Δ-) pour 1950-1974, (-o-) pour 1950-1978.

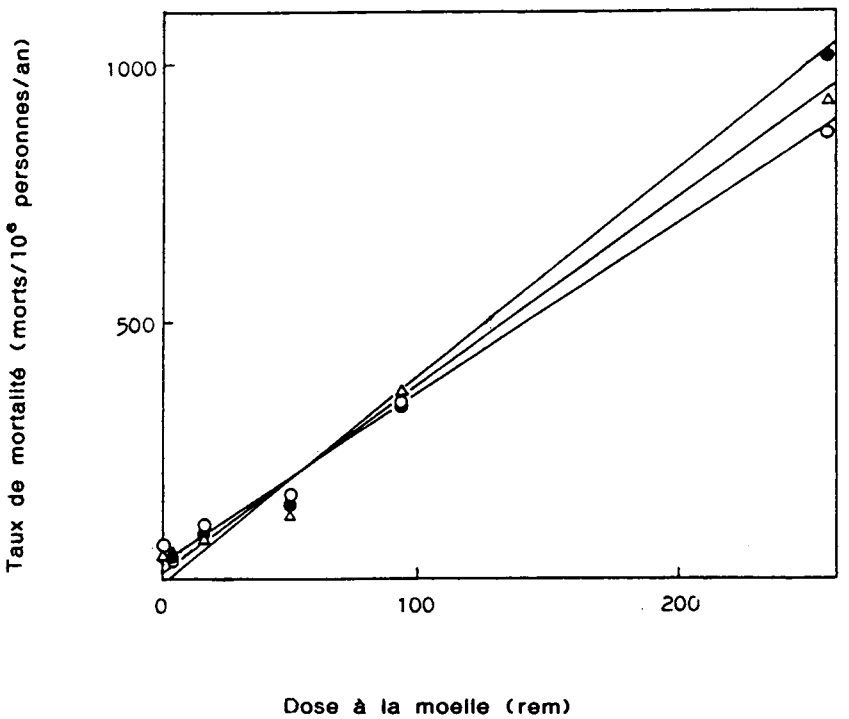


Figure 2

Taux annuel de mortalité pour tous cancers autres que la leucémie en fonction de la dose au corps entier en rem, facteur de qualité du neutron Q = 10. (-●-) pour 1950-1970. (-Δ-) pour 1950-1974. (-o-) pour 1950-1978.

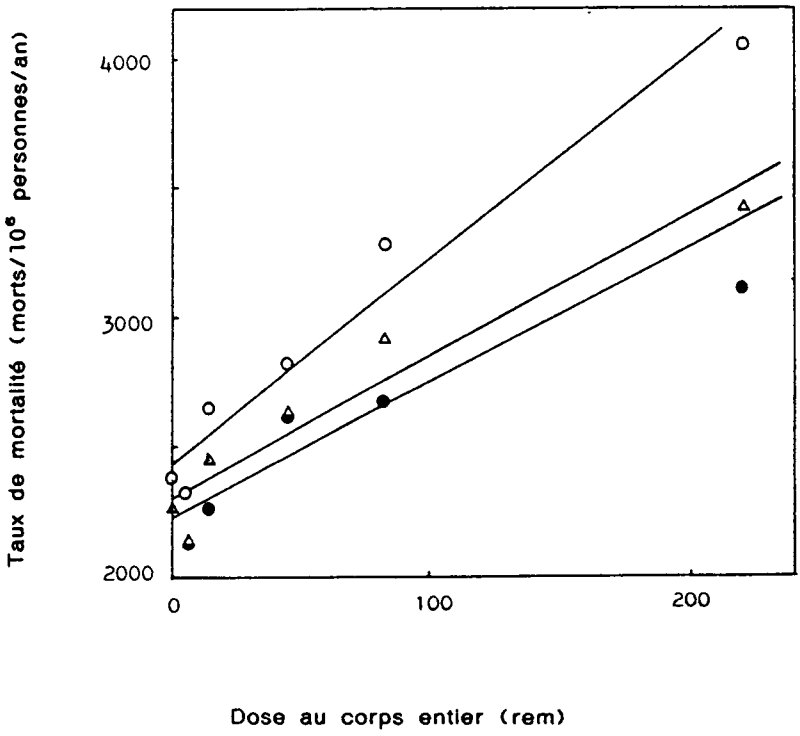


Figure 3

Excès des décès par leucémie et par tous autres cancers

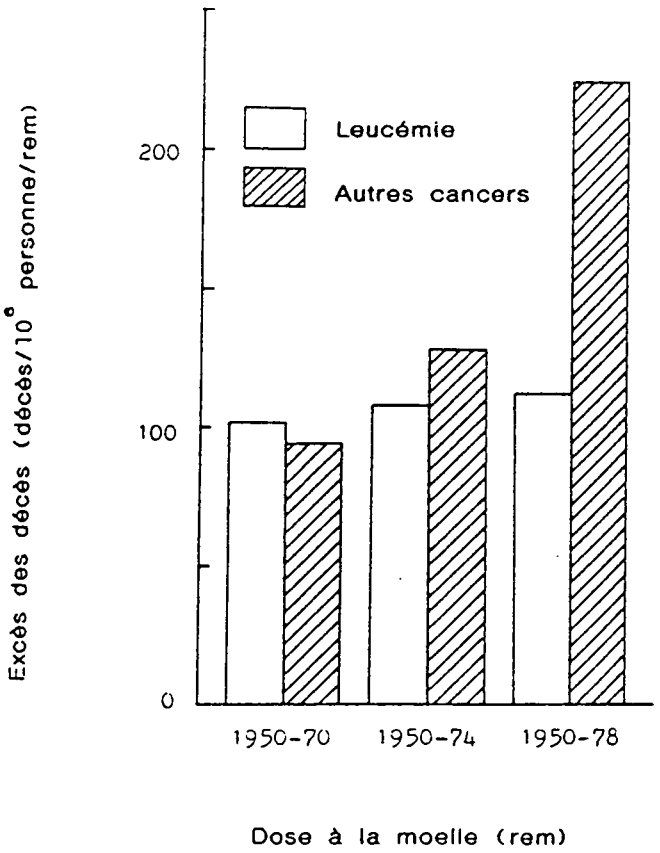


Table 1

Risque annuel absolu (décès en excès annuellement pour un million de personnes et par rem) de décès parmi les survivants des bombes A, par périodes et par villes, pour la leucémie et tous les autres cancers (d'après réf. 3).

Période	HIROSHIMA		NAGASAKI	
	Leucémie	Tous autres cancers	Leucémie	Tous autres cancers
1950-1954	4.10	1.05	4.50	2.39
1955-1958	3.55	0.11	0.34	-0.55
1959-1962	1.27	4.02	2.49	0.44
1963-1966	1.49	4.93	0.20	0.36
1967-1970	1.72	4.70	0.44	1.13
1971-1974	0.80	6.28	-0.13	0.75
1975-1978	0.96	12.80	-0.21	4.74
Total				
1950-1978	2.12	4.32	1.27	1.27
1950-1974[a]	2.33	3.19	1.46	0.86

a: d'après réf. 2

Table 2

Mortalité par cancers pour les survivants de la bombe A à Hiroshima.

Période	Niveaux de dose T65 dose totale en rad	Personne x années à risque (en milliers)	Leucémie		Autres cancers	
			Nbre de cas	Taux de mortalité 10^{-6} an^{-1}	Nbre de cas	Taux de mortalité 10^{-6} an^{-1}
1950-70[a]	200+	26.7	27	1011	84	3146
	100-199	30.2	10	331	81	2682
	50-99	48.3	7	145	126	2609
	10-49	195.4	17	87	443	2267
	0-9	795.6	34	43	1672	2101
1950-74[b]	200+	32.4	30	926	111	3426
	100-199	35.9	13	362	105	2924
	50-99	56.9	7	123	150	2636
	10-49	227.5	18	79	559	2457
	1-9	291.9	14	48	620	2124
	0	630.1	28	44	1432	2273
1950-78[c]	200+	37.2	32	860	151	4060
	100-199	41.4	14	338	136	3290
	50-99	66.7	11	165	189	2830
	10-49	263.3	28	106	698	2650
	1-9	385.8	14	36	896	2320
	0	665.2	42	63	1589	2390

a: d'après réf. 1
b: d'après réf. 2
c: d'après réf. 3

Table 3

Valeurs estimées pour les doses individuelles reçues par les survivants de la bombe A à Hiroshima (d'après réf. 6).

Niveaux de doses individuelles	Distance moyenne (m.)	T65D Dose moyenne[a] gammas	T65D Dose moyenne[a] neutrons	LLNL Dose moyenne[a] gammas	LLNL Dose moyenne[a] neutrons
200+	960	269.3	93.9	356	16.8
100-199	1150	108.5	30.1	143	4.6
50-99	1280	56.9	13.3	80	1.8
10-49	1500	17.6	4.3	26	0.43
1-9	1940	2.9	0.8	6.7	0.047

a) Ces doses ont été corrigées en ce qui concerne l'absorption apportée par les habitations.

Table 4

Facteur de conversion kerma/dose (d'après réf. 7)

Rayonnement	Site: Moelle	Site: Corps entier
Rayonnement gamma	0.56	0.50
Neutrons	0.28	0.22
Rayonnement gamma par capture de neutrons	0.07	0.07

Table 5

Risque absolu et excès des décès parmi les survivants de Hiroshima.

Période	Risque absolu annuel (morts/10^6 personnes/an/rem) Cause de mort: Leucémie	Risque absolu annuel: Tous autres cancers	Morts en excès (morts/10^6 personnes/rem) Cause de mort: Leucémie	Morts en excès: Tous autres cancers
1950-1970	4.03	4.41	101	93
1950-1974	3.70	5.47	107	137
1950-1978	3.36	7.70	111	223

REFERENCES

[1] **JABLON S. & KATO H.** "Studies of the mortality of A-bomb survivors. 5 . Radiation dose and mortality, 1950 - 1970". Radiat. Res. 1972, 50 : 649-698

[2] **BEEBE G. W., KATO H. & LAND C.E.** "Studies of the mortality of A-bomb survivors. 6. Mortality and radiation dose, 1950 - 1974.", Radiat. Res. 1978, 75 : 138-201

[3] **KATO H. & SCHULL W.J.** "Studies of the mortality of A-bomb survivors. 7. Radiation dose and mortality, 1950-1978 : part 1. Cancer Mortality". Radiat. Res. 1982, 90 : 395-432

[4] **LOEWE W. E. & MENDELSOHN E.** "Neutron and gamma ray doses at Hiroshima and Nagasaki". Nucl. Sci. Eng. 1982, 81 : 325-350

[5] **KERR G.D.** "Finding of a recent ORNL review of dosimetry for the Japonese atomic-bomb survivors", ORNL TM-8078 P. 70 ; 1981

[6] **LOEWE W. E. & MENDELSOHN E.** "Revised estimates of dose at Hiroshima and Nagasaki, and possible consequences for radiation-induced leukemia, (preliminary) report D 80-14, Lawrence Livermore National Laboratory

[7] **KERR G.D.** "Organ dose estimates for the Japonese atomic-bomb survivors" Health Physics, 1979, 37 : 487-508

[8] **ICRP Publication 26** (1976) , Pergamon Press

[9] **ICPR Committee 1**, "The evaluation of risks from radiation", Health Physics, 1966, 12 : 239-302

[10] **KNEALE G.W., STEWART A.M. & MANCUSO T.F.** "Re-analysis of data relating to the Hanford study of the cancer risks of radiation workers" in : Late biological effects of ionising radiation, 1978, Vol 1, Vienna ; IAEA, 387-412 . (IAEA-SM-224/570)

Effets à long terme du rayonnement des bombes A sur les survivants

Problèmes du risque qui ne sont pas liés au nouveau système de dosimétrie

Dr Alice Stewart

11 Août 1987

A. STEWART

L' épidémiologiste anglaise, Alice Stewart a dirigé de nombreuses études, depuis les années 50, sur les risques cancérigènes liés aux rayonnements ionisants. Parmi ses travaux les plus importants, citons :

- l'étude dite "d'Oxford"sur les cancers des enfants qui a mis en évidence le risque cancérigène des radiographies obstétricales pendant la grossesse, incompatible avec le facteur de risque officiel.

- l'étude sur les travailleurs de l'usine nucléaire de Hanford (USA) qui a mis également en évidence une sous-estimation du risque cancérigène des rayonnemnts ionisants.

- l' effet du rayonnement naturel en Grande-Bretagne sur les foetus et son incidence sur les cancers des enfants.

Depuis 1972, elle a souligné les biais affectant l'étude des survivants japonais des bombes atomiques.

A la suite du procès intenté par des citoyens américains contre la Metropolitan Edison, propriétaire de la centrale de Three Mile Island, un fonds de 1,5 million de dollars a été affecté à Alice Stewart pour étudier les effets cancérigènes du rayonnement sur les travailleurs US du nucléaire dépendant du Département de l'Energie (DOE) qui, jusqu'à maintenant, n'a pas relâché les données qui lui permettraient de faire cette étude.

A. stewart a reçu "le prix Nobel Alternatif" pour l'ensemble de ses tavaux.

LETTRE OUVERTE AUX MEMBRES DE LA CIPR

Selon la publication 26 de la CIPR, la méthode la plus sûre pour estimer le risque cancérigène des faibles doses de rayonnement consiste à extrapoler linéairement les effets observés à des niveaux beaucoup plus élevés [1]. Cette recommandation est toujours considérée comme valable, et elle a clairement pour origine la Fondation RERF (Radiation Effects Research Foundation) qui suppose que tous les effets à long terme après 1945 de l'irradiation par les bombes A sont le résultat de mutations (effets stochastiques) [2]. Il y a cependant plusieurs observations qui contredisent cette hypothèse.

Les données RERF pour l'estimation du risque proviennent d'une cohorte exceptionnellement importante qui fut constituée cinq ans après les bombardements de Hiroshima et de Nagasaki. Entre temps, les régions dévastées avaient été reconstruites et la vie dans les deux villes était redevenue normale. En outre, d'après la RERF, la mortalité par les effets non stochastiques du rayonnement avait cessé et pour les personnes qui étaient encore en vie le 1er octobre 1950, le risque de mourir de toutes les causes naturelles autres que le cancer, était normal.

Ces conclusions étaient le résultat d'une analyse de risque relatif parmi la cohorte des survivants classés dans une échelle de doses à huit niveaux (système de dosimétrie T65). Sur cette échelle, les doses inférieures à 1 rad constituaient le niveau le plus bas, et celles supérieures à 400 rad le niveau le plus haut.

La moyenne pour les 19.374 survivants de Nagasaki était plus forte (42 rad) que pour les 60.482 survivants d'Hiroshima (34 rad). Pour les doses supérieures au seuil des effets non stochastiques (100 rad), les différences entre les deux villes étaient encore plus importantes (14 % et 5 %). Cependant, nous avons appris depuis que le rapport gamma/neutron avait la même valeur pour les deux villes.

A partir de 1950 les taux de mortalité de la cohorte des survivants se comparaient favorablement avec les taux observés sur le plan national. Aussi, moyennant certaines hypothèses, l'analyse du risque relatif était compatible avec le fait qu'il n'y avait pas d'excès de mortalité pour des causes autres que les cancers. Ces hypothèses sont:
1) que la plupart des morts imputées à l'anémie aplasique étaient en réalité des leucémies ;
2) que tout risque de mort lié aux doses de rayonnement reçu devait se présenter sous la forme d'une variation sensiblement linéaire par rapport aux doses dans l'échelle du système de dosimétrie T65. Tout le monde n'était pas d'accord avec ces hypothèses. Mais quelles que soient les objections qui ont été soulevées, elles ont été soit rejetées, soit ignorées [3-5]. Outre les doutes concernant l'origine de l'excès de mortalité par anémie aplasique, le principal objet de préoccupation concernait la durée pendant laquelle les effets du bombardement continuaient à affecter les taux de mortalité parmi les survivants.

Pendant plusieurs mois après juillet 1945, les deux villes connurent des taux de mortalité extrêmement élevés, variant comme l'inverse des distances aux points d'impact et considérablement plus forts à Nagasaki qu'à Hiroshima [6]. Les services essentiels étaient totalement désorganisés, cela signifiait des conditions de vie très dures pour tout le monde. Il n'y avait pas d'antibiotiques pour faire face aux très nombreuses blessures et à l'épidémie d'effondrement aigu de la moelle osseuse [7]. Celle-ci causa des milliers de morts par des infections foudroyantes et des états sanguins inhabituels. Ainsi, cet effet initial des bombardements, lié aux doses reçues, doit avoir conduit à une sélection en faveur des personnes qui avaient un système immunologique particulièrement efficace.

Cette sélection initiale n'a jamais été contestée, elle a même été décrite par la RERF comme "un fait indubitable et non pas une question discutable" [8]. Néanmoins, la Fondation maintint fermement son opinion selon laquelle les effets de sélection sur la mortalité durèrent trop peu de temps pour avoir un effet important sur quiconque était encore en vie en 1951. Cette opinion résultait de l'hypothèse que, jusqu'à ce qu'ils

disparaissent, ces effets devaient nécessairement avoir tendance à dépendre linéairement des doses. Or, un tel effet linéaire n'avait pas été découvert (Nagasaki) ou était "trop faible pour avoir une influence notable sur l'estimation de l'effet du rayonnement" (Hiroshima) [8].

Bien qu'il n'y ait eu aucun précédent à l'épidémie initiale de l'effondrement aigu de la moelle osseuse, cette épidémie introduit manifestement la possibilité que, parmi les survivants, subsistent des atteintes permanentes du système immunitaire et que persistent des effets dus aux blessures graves. Le premier effet serait plus difficile à détecter que le second, mais s'il existait, il se traduirait à la fois par un excès de mortalité dû aux infections (contrebalançant les effets de la sélection initiale) et par un excès de mortalité dû à une maladie normalement rare, l'aplasie médullaire ou anémie aplasique.

Au départ, les analystes des données de la RERF s'attendaient probablement à trouver trois effets liés aux doses de rayonnement : un effet initial qui réduirait le risque de mortalité pour toutes les causes naturelles (effet de sélection par la forte mortalité initiale), un effet ultérieur qui augmenterait le risque de morts (raccourcissement non spécifique du temps de vie par diverses lésions non stochastiques) et enfin un effet différé à long terme provenant des mutations induites par le rayonnement (cancer ou effet stochastique). Ils supposaient naturellement que, pour chaque facteur opérant séparément, il y aurait une courbe de réponse effet/dose de forme monotone (c'est-à-dire une courbe qui augmente ou diminue d'une façon continue avec la dose de rayonnement ou la distance au point d'impact). Ils supposèrent qu'il était peu probable que la sélection et les lésions non stochastiques aient des effets exactement égaux, avec des signes opposés, sur toutes les causes de décès. Ainsi, quand les estimations des doses furent connues pour chaque membre de la cohorte des survivants, on supposa que ces trois effets du rayonnement devraient apparaître dans l'analyse du risque relatif sous la forme de courbes sensiblement linéaires.

L'analyse du risque relatif ne montrait aucune variation linéaire croissante ou décroissante, quelle que soit la cause de mort, cancers

exceptés, sauf pour un petit groupe de maladies du sang (ce résultat était suspect par suite d'associations possibles avec les maladies malignes, la leucémie en particulier), et les suicides. C'est ainsi que la RERF, avec une confiance accrue, informa le monde que ni les effets initiaux des explosions, ni aucun effet non stochastique du rayonnement n'avaient laissé de trace sur la cohorte des survivants. A cette époque, il n'y avait personne ayant une expérience suffisante des effets à long terme de désastres naturels pour récuser ces conclusions. Par conséquent, leurs aspects les plus improbables furent rapidement oubliés, et il devint d'une pratique courante d'accepter que l'estimation du risque pour les faibles doses de rayonnement soit faite par extrapolation à partir des effets aux fortes doses et de considérer les données de la RERF comme une des meilleures sources pour ces effets [9].

Malheureusement pour cette méthode simple et commode d'évaluation du risque, le modèle linéaire est erroné pour identifier les effets simutanés de deux facteurs dont les effets sur la mortalité sont de signes opposés et dont les seuils de dose sont très éloignés. Par exemple, la sélection a été causée aussi bien par les dures conditions de vie en 1945 et 1946 que par les blessures individuelles ; mais les seules personnes pouvant être affectées par un risque d'atteinte chronique de la moelle furent celles qui survécurent à de fortes doses. Par conséquent, le facteur qui était supposé réduire le risque de mortalité par causes naturelles n'avait pas de limite inférieure de dose, alors que le facteur qui était supposé augmenter le risque n'avait probablement aucun effet en-dessous de 100 rad. Avec une différence d'une telle importance, on aurait dû s'attendre à trouver pour la mortalité non pas un modèle linéaire par rapport au système de dosimétrie T65, mais un effet qui décroît pour les doses inférieures à 100 rad et qui croît pour les doses supérieures à ce niveau ; on devrait aussi s'attendre à ce que cet effet affecte davantage les infections (et les maladies qui sapent la résistance aux infections) que les morts violentes et subites. En bref, la preuve exigée d'une analyse de risque relatif était des courbes en forme de U en fonction de la dose pour beaucoup de causes de mort autres que les cancers, mais pas pour

toutes les causes, les exceptions principales étant les morts subites par des causes telles que l'hémorragie cérébrale, l'infarctus du myocarde ou les blessures volontaires.

Dans le neuvième rapport de mortalité de la RERF seules six sous-catégories de causes autres que le cancer sont mentionnées et une seule cause de mort par infection (tuberculose) est identifiée séparément. Même dans ces conditions, il y a plusieurs exemples de courbes en U pour la dépendance vis-à-vis de la dose dans les tables supplémentaires, et pour un groupe résiduel important (contenant de nombreuses infections et la mortalité par cause incertaine) cette forme de courbe est une caractéristique constante pour 7 intervalles de temps consécutifs. Il y a aussi une analyse indépendante des données qui ont été publiées relatives à la mortalité par causes autres que le cancer, qui montre les effets de la comparaison des deux groupes de morts cardiaques avec les cas restants [5]. Pour ce groupe résiduel (qui comprend à peu près deux fois plus de morts que les néoplasmes), il n'est pas possible de se méprendre sur le fait que, pour chaque période considérée, le risque en fonction de la dose décroît pour les doses inférieures au seuil non stochastique et croît au-delà de ce seuil. Pour les deux groupes des morts cardiaques, il n'y avait pas, en fonction de la dose, de variation linéaire ou de courbe en U.

Pour les morts subites et les morts par blessures volontaires, il y avait une réponse décroissante pour des doses croissantes qui était plus rapide au-delà de 100 rad qu'en dessous [2].

On peut trouver d'autres preuves des effets simultanés de la sélection initiale et des lésions non stochastiques dans un rapport de la RERF qui comparait les taux de mortalité de 1950 à 1974 pour 6 groupes de morts par autres causes que le cancer, aux statistiques nationales [8]. Pour chaque groupe, le rapport des morts observées aux morts attendues était plus élevé pour Nagasaki (avec 14 % de survivants aux fortes doses) que pour Hiroshima (avec seulement 5%) et pour deux groupes qui incluaient la plupart des morts par infection (par exemple la tuberculose et le groupe résiduel) les rapports pour les deux

villes étaient plus élevés que les rapports correspondants pour les deux groupes de morts cardiaques.

Finalement, pour les niveaux de doses supérieurs à 100 rad, le nombre observé de morts par anémie aplasique et par des maladies sanguines similaires était environ cinq fois plus grand que le nombre attendu.

Ainsi, il y avait de nombreuses observations montrant qu'il n'était pas du tout nécessaire de supposer que les effets mutagènes du rayonnement étaient responsables de l'excès de mortalité par anémie aplasique. La RERF a tenté d'une façon répétée de rendre ces cas conformes à l'hypothèse principale en cherchant (et en trouvant) des preuves d'erreur de diagnostic. Ces tentatives sans justification rappelaient que la même raison , et les mêmes procédures, avaient exactement fourni les mêmes excuses pour un excès comparable de morts par anémie aplasique trouvé dans le suivi des spondylarthrites ankylosantes [10]. Puisque cette étude concernait des malades hospitalisés, il n'y avait pas la possibilité d' effectuer un test d'effets non spécifiques sur le raccourcissement de la vie pour les fortes doses de rayonnement. Par conséquent, l'idée que des atteintes, même importantes, de la moelle n'avaient pas d'effets durables provient d'une façon évidente de l'étude sur les survivants japonais.

Il est évidemment possible de confondre la leucémie avec d'autres maladies du sang, mais il est également facile de faire l'erreur inverse. Par conséquent, même sans une forme en U de la courbe de mortalité pour les infections, l'excès de mortalité par anémie aplasique dans les données de la RERF a toujours fourni une preuve suffisante des effets de sélection de la forte mortalité initiale qui n'étaient plus visibles sur les taux de mortalité chez les survivants après 5 ans, c'est-à-dire qu'il y avait continuation des effets non stochastiques du rayonnement sur la mortalité, bien au-delà de 1950 et peut-être même jusqu'à aujourd'hui.

Ces morts non stochastiques devraient certainement être

accompagnées de morts par des effets chroniques d'autres maladies et blessures produites par les bombes et pour les deux groupes la cause principale de mort devrait provenir d'une sensibilité accrue aux infections ; par conséquent, même parmi ceux qui survécurent à des doses faibles, on pourrait s' attendre à plus de morts que la normale pendant la période de latence des cancers. Au-delà du seuil non stochastique ainsi que dans les groupes d'âge sensibles aux infections, il devrait y avoir des écarts exceptionnellement importants entre les nombres observés et attendus pour ces morts, ce qui induit des erreurs. La compétition permanente entre deux causes de mort (à savoir les infections et les cancers) expliquerait en fait pourquoi il y a eu pendant si longtemps un déficit significatif de morts par cancer dans le groupe d'âge le plus jeune.

La continuation des effets non stochastiques sur la mortalité pendant de nombreuses années après l'irradiation à de forts niveaux de rayonnement (ce que l'on peut déduire de l'augmentation des incidences d'anémies aplasiques dans les données de l'étude de la RERF et de celle sur la spondylarthrite) est la raison pour laquelle il sera toujours dangereux de déduire les effets des faibles doses de rayonnement à partir des effets des fortes doses. Cette méthode d'estimation du risque est si fermement érigée et il y a une telle pénurie de données relatives aux irradiations aux faibles doses que la Commission pourrait être peu disposée à mettre en question l'hypothèse de la RERF. Pourtant, à moins qu'un pas décisif soit fait pour trouver des raisons meilleures aux observations qui contredisent cette hypothèse, nous pourrions être en danger de sous-estimer grossièrement non seulement les dangers du travail sous rayonnement, mais aussi les effets sur la santé publique des accidents nucléaires passés et futurs.

REFERENCES

[1] . **ICRP** - 26 . Pergamon Press, 1977

[2] . Life Span Study Report 9 . RERF TR 12-80 Hiroshima, 1980

[3] . **STEWART A.M.** Health Physics, 1973, 24 : 223-240

[4] . **ROTBLAT J.** New Scientist, 1977, 75 : 475-476

[5] . **STEWART A.M. & KNEALE G.W.** J. Epid. & Comm. Health, 1984, 38 : 108-112

[6] . **TACHIKAWA K.** ABCC. TR 17-71 Hiroshima, 1971

[7] . **OKHITA T.** J. Rad. Res. (Tokyo), 1975, 16 : 49-66

[8] . **BEEBE G.W., LAND C.E. & KATO H.** Late Biological Effects of Radiation . IAEA, Vienna, 1978, Vol I : 3-27

[9] . **LAND C.E.** Science, 1980, 209 : 1197-1203

[10] . **COURT BROWN W. & DOLL R.** MRC Spec. Rep. Series N°295, 1957

Le système international de radioprotection est fondé sur des données fausses

Roger Belbéoch

membre du
GSIEN

Ce texte a été publié dans la Gazette Nucléaire 56/57, décembre 1983.

Dans l'étude des survivants japonais, l'évaluation des morts par cancers qu'on pouvait attendre dans une telle population a été critiquée depuis assez longtemps. Le deuxième terme de la relation effet/dose, les doses reçues à Hiroshima, était resté dans l'ombre et personne n'y faisait allusion, ce qui pouvait laisser croire que les doses ne posaient pas de problème.

Le 22 mai 1981, la revue scientifique américaine *Science* titre : *"Les bases de 15 ans de recherches sur le rayonnement pourraient être fausses. La toxicité du rayonnement pourrait être sous-estimée."*

Deux physiciens (W.E. Loewe et E. Mendelsohn) d'un laboratoire américain de recherche sur les armes nucléaires venaient de recalculer le rayonnement émis pendant les explosions d'Hiroshima et de Nagasaki. Leurs résultats mettaient en cause l'évaluation officielle du risque cancérigène du rayonnement.

"Que d'énergie, que de temps perdus par les uns et par les autres pour construire ces rapports biaisés, ensuite pour les démolir, finalement pour revenir à zéro." Ce texte est extrait de l'intervention du professeur Latarjet, membre de l'Institut, à une réunion de la S.F.E.N. (Société Française pour l'Energie Nucléaire) et de la S.F.R.P. (Société Française de Radioprotection) qui s'est tenue le 9 mars 1981, c'est à dire moins de trois semaines après la publication de *Science*. Ce professeur visait les études dont les résultats ne sont pas conformes aux normes officielles et qui sèment le trouble dans les consciences honnêtes. Les experts sont alors contraints à une gymnastique difficile de réfutation afin "d'éviter au spectateur honnête -comme il dit- les affres du débat." Le fait que l'étude qui lui sert de référence dans ses réfutations ne soit pas correcte ne semble pas troubler ce professeur, même si les trublions, cette fois-ci, font partie de l'establishment nucléaire militaire.

A partir de 1947, le gouvernement américain a financé une enquête épidémiologique de grande envergure sur les survivants japonais. Paradoxalement, les catastrophes nucléaires d'Hiroshima et de Nagasaki allaient servir à démontrer que les dangers du rayonnement dans le domaine des "faibles doses" n'étaient pas très élevés, ce qui devait permettre un développement bon marché de l'industrie nucléaire avec des normes de protection suffisamment souples et non

contraignantes. Certains experts allèrent même jusqu'à démontrer l'effet bénéfique des faibles doses.

Les survivants japonais vont être suivis de 1950 jusqu'à leur mort. Cela donnera "l'effet". Quand à la "dose", elle sera déterminée par des calculs simulant les explosions et la connaissance de l'endroit où chacun des survivants se trouvait au moment des bombardements. Des explosions expérimentales furent faites dans le Névada pour tenter de vérifier certains résultats des calculs. Ce dossier est longtemps demeuré secret. Quant aux données biologiques, elles ne furent pas accessibles à des chercheurs autres que ceux officiellement affectés à l'étude, bien qu'aucune clause de secret militaire ne fut avancée. Seules les conclusions sur l'effet du rayonnement et quelques analyses partielles furent publiées. Quand le secret fut levé sur le calcul des doses reçues, certains chercheurs demandèrent des explications sur les hypothèses utilisées. Le responsable* se déclara incapable de fournir des précisions sur les hypothèses qu'il avait utilisées, car ses dossiers s'étaient égarés et furent détruits au cours d'un déménagement ! Rappelons qu'il s'agissait de secrets militaires servant de base à la protection sanitaire pour tous les habitants de la terre ! Etrange coïncidence, car on apprend maintenant par des bouches officielles que, depuis 1975, beaucoup de spécialistes avaient de sérieux doutes sur la validité de ces calculs. Il faut noter que ces experts qui "doutaient" se sont abstenu de participer à la polémique qui opposait les deux grandes études quantitatives, celle sur les survivants japonais et celle sur les travailleurs de Hanford. Le responsable de l'éude (et de la disparition des données) a récemment déclaré : "Nous savions à ce moment (en 1965) que la réponse que nous avions n'était pas assez bonne, mais nous avions une réponse et les crédits s'épuisèrent." L'important pour cet expert n'était pas d'avoir une réponse correcte mais simplement une réponse. Il n'indique pas que les crédits lui furent refusés pour trouver une réponse plus correcte. La réponse qu'il apportait à la radioprotection était satisfaisante à la fois pour les promoteurs de l'industrie nucléaire et les militaires fabricants de bombes.

* John Auxier, Laboratoire National d'Oak Ridge

Les chercheurs qui viennent de refaire les calculs sont bien embarrassés et considèrent cette étude comme un cadeau empoisonné. Peut-être ont-ils lu l'avertissement désabusé de Karl Morgan qui fut, pendant plusieurs années, le Président de la Commission Internationale de Protection Radiologique :

"Notre destin en tant que physiciens médicaux d'une profession en croissance constant a été l'un des plus intéressants et des plus excitante, mais il n'a pas toujours été facile, car il fut un temps où certains de mes collaborateurs furent rétrogradés ou perdirent leur emploi parce qu'ils refusaient de céder aux pressions pour abaisser nos critères de sécurité, parce qu'ils refusaient des compromis qui conduisaient à accepter des conditions de travail insuffisamment sûres."

La position de ces chercheurs est assez délicate. Hésitation à publier des résultats définitifs, déclarations contradictoires, affirmations curieuses du genre : nos résultats sont préliminaires, il ne faut pas en tirer de conclusions pour la radioprotection, mais de toute façon les conséquences biologiques seront inchangées (c'est quasiment une promesse faite aux officiels) et il ne sera pas nécessaire de modifier les normes de radioprotection. Or, même si leurs résultats sont préliminaires, on peut cependant tirer deux conclusions définitives :

1) Les calculs précédents étaient grossièrement faux.
2) Les normes actuelles de radioprotection n'ont plus aucun fondement scientifique.

Il faudrait d'ailleurs ajouter : de nombreux experts officiels connaissaient la situation et ils n'ont rien dit.

Des conférences en juin et septembre 1981 ont réuni des spécialistes. Cela devenait urgent, car le sujet risquait d'être explosif. Les journaux (américains) en parlaient, des bruits circulaient dans les couloirs des laboratoires spécialisés. Un vieil expert officiel, rompu à la discipline de la radioprotection, Seymour Jablon, a bien résumé la situation :

"Etant donné l'expérience unique (sic) à Hiroshima et Nagasaki et les dizaines de millions de dollars qui ont été dépensés pour essayer d'accumuler des résultats de biologie humaine, il est vraiment

consternant de penser que nous sommes ici, trente-six ans plus tard, à débattre des ordres de grandeur des doses reçues."

Et pour finir, il formule son souhait, que les recherches se terminent vite. Il n'ajoute pas que c'est son désir de vérité qui le pousse. Mais l'amertume de ses propos montre bien que ce genre de débats risque fort d'enlever beaucoup de crédibilité à ces experts qui depuis 1975 savaient (ou auraient dû savoir) que les données numériques sur lesquelles leurs discours s'appuyaient étaient fausses. Le même Jablon précise clairement le sens que doivent suivre les nouvelles recherches : "*Je pense qu'il est absolument nécessaire, dans cette ténébreuse affaire, que tout système de dosimétrie qui en résultera finalement soit raisonnablement en relation avec les influences biologiques que nous connaissons...* "

Pour ce personnage important, le raisonnement est le suivant :

1) Le rayonnement est peu dangereux et les normes traduisent ce point démontré parfaitement par l'étude épidémiologique que nous, experts dûment reconnus, avons faite sur les survivants japonais.

2) Comme le rayonnement est peu dangereux et que les normes internationales sont parfaitement fondées (voir le paragraphe précédent), il n'est pas pensable qu'un calcul sur les explosions d'Hiroshima et de Nagasaki puisse montrer le contraire.

Le raisonnement est d'une totale circularité : il faut s'appuyer sur les normes internationales pour évaluer les doses de rayonnement reçues par les survivants japonais, dont la connaissance est nécessaire pour estimer le risque cancérigène du rayonnement afin d'établir des normes scientifiquement fondées ! Ce personnage est probablement des plus importants, car ses raisonnements curieux ne semblent pas avoir soulevé d'objection de principe parmi l'auditoire.

Quand on lit les comptes rendus de ces réunions d'experts, il apparaît tout à fait évident que les responsables officiels de la pathologie du rayonnement, qui se disent les garants de notre protection, ont un postulat de base : le rayonnement n'est pas dangereux. Ce postulat est absolument nécessaire pour le développement de l'industrie nucléaire.

Le fond de la discussion sur le calcul des explosions est le suivant. Le modèle mathématique utilisé en 1965 pour simuler les

explosions conduisait à différencier les effets produits par les deux bombes. Celle d'Hiroshima (à uranium enrichi) aurait donné plus de neutrons que celle de Nagasaki (au plutonium). Ceci amenait les experts à attribuer une bonne partie des cancers observés chez les survivants à l'effet des neutrons. Il restait peu de cancers pour le rayonnement gamma. L'industrie nucléaire naissante, grosse productrice de ce rayonnement, était satisfaite. Mais cette évaluation suscite toujours des polémiques, même parmi les experts officiels. Par exemple, au cours des réunions du Comité Spécialisé de l'Académie des Sciences des U.S.A. (dont les conclusions servent de référence à tous les officiels), le président soutenait la thèse que le danger des neutrons était surestimé et qu'en conséquence, le risque lié au rayonnement gamma était, lui, sous-estimé d'un facteur au moins égal à 2. A l'opposé, Rossi, un autre expert soutenait la thèse inverse et proposait d'augmenter les doses maximales admissibles pour les gammas. La majorité du comité préféra recommander le statu quo, compromis finalement acceptable par les militaires et les civils. Cependant, la polémique inquiéta certains laboratoires militaires qui se voyaient menacés d'un renforcement des normes de sécurité liées aux neutrons. Ceci les poussa à revoir les données de base, que par ailleurs ils savaient douteuses. Les nouveaux calculs montrèrent que le taux de neutrons avait été surestimé d'un facteur pouvant aller jusqu'à 10. Le résultat est immédiat : les cancers qu'on attribuait aux neutrons, il faudrait maintenant les affecter aux rayons gamma qui deviennent alors particulièrement dangereux. Pour éviter la déroute des comités d'experts et les conséquences qui en résulteraient pour l'industrie nucléaire, il était urgent de rendre l'affaire "ténébreuse" suivant l'expression de Jablon.

Signalons au passage qu'il n'y a plus maintenant aucune donnée valable sur l'effet biologique des neutrons et on voit difficilement comment les experts internationaux pourraient justifier une évaluation quelconque du risque de ce rayonnement.

L'affaire s'est compliquée encore plus. Profitant du débat, certains spécialistes commencèrent à éplucher de près les hypothèses de ces évaluations et mirent en évidence ce que par euphémisme ils nomment négligences dans les calculs antérieurs. Toutes vont dans le

même sens : surévaluer la dose affectée aux survivants, ce qui minimise l'effet cancérigène. On s'aperçoit alors qu'il faut recalculer correctement l'absorption du rayonnement par les tissus humains pour avoir la dose correcte reçue par les différents organes. D'autre part, l'effet d'écran des bâtiments au moment des explosions a été assez largement sous-estimé. En particulier, un physicien d'un laboratoire américain de Brookhaven remarqua que, pour Nagasaki, une fraction importante de la population fut fichée avec des doses beaucoup trop fortes. En effet, les travailleurs de l'aciérie Mitsubishi furent arbitrairement considérés comme étant à l'extérieur. Or, pour eux, l'effet d'écran protecteur des murs en béton et en acier de l'usine, ainsi que les grosses machines, fut très important. La difficulté de calculer l'effet ne justifie pas pour autant de le négliger. C'est pourtant ce qui a été fait.

Le minimum qu'on devait exiger des experts, c'était de reconnaître l'énorme difficulté de calculer les doses reçues par la population, de préciser les simplifications apportées par leurs hypothèses, d'évaluer honnêtement les marges d'erreur qui sont considérables. Or on s'aperçoit maintenant que toutes les hypothèses simplificatrices vont dans le sens d'une minimisation de l'effet biologique. Ceci est particulièrement inadmissible quand il s'agit de la protection de la santé.

Le président de la Commission spécialisée de l'Académie des Sciences américaine, Edward Radford, a relancé la polémique que les officiels de la santé avaient réussi à éteindre. Il propose que les normes prennent en compte un risque deux fois plus élevé que celui reconnu auparavant, et cela en attendant des résultats plus précis. Ce facteur 2 est d'ailleurs totalement arbitraire. Il ajoute qu'on devrait envisager, dans l'estimation des risques, l'induction de tous les cancers, qu'ils soient mortels ou non. Cela donnerait une meilleure évaluation du détriment causé par le rayonnement. La logique des normes internationales de radioprotection impliquerait alors de réduire les doses maximales admissibles pour les travailleurs et la population par un facteur 2 ou 4. Les experts auraient évidemment toujours la possibilité de renoncer à leur critère d'acceptabilité et de le remplacer par un critère de nécessité pour l'industrie nucléaire, indépendamment des

conséquences pour la santé.

Depuis près d'un an, les nouvelles sur cette "ténébreuse" affaire se font rares. Les experts officiels ont réussi à stopper la polémique publique, en attendant que de nouveaux calculs, aux hypothèses toujours aussi floues, soient publiés, justifiant le maintien du statu quo provenant d'un calcul reconnu faux.

Il n'y a plus actuellement aucun fondement correct au système de radioprotection, donc à l'évaluation des dangers de l'industrie nucléaire. L'étude épidémiologique sur les travailleurs de Hanford demeure la seule valable, la plus précise pour l'évaluation des risques cancérigènes du rayonnement. Il serait très important que cette étude soit élargie aux travailleurs des autres centres nucléaires (Oak Ridge et Los Alamos) pour qui l'administration américaine a les données nécessaires. Elles pourraient, si elles étaient dépouillées, doubler le nombre de personnes suivies, c'est-à-dire améliorer notablement la précision de l'évaluation du risque. Mais ceci ne semble pas être le souci majeur des responsables de la santé publique.

Compte rendu de la réunion de la Commission Internationale de Protection Radiologique

à Côme en Septembre 87

CIPR / 1987 / 6 - 05
10 septembre 1987

EXTRAITS

La Commission s'est réunie du 7 au 17 septembre 1987 avec ses quatre comités permanents. La réunion comprenait un nombre total de participants de 75 scientifiques de 20 pays travaillant dans différents domaines. Des observateurs de plusieurs organismes (CEE, COMECON, AIEA, ICPEMC, ICRU, IEC, IRPA, OCDE/NEA, UNEP, UNSCEAR et OMS) participèrent également à la réunion.

LES RECOMMANDATIONS PRINCIPALES DE LA CIPR

La Commission révise actuellement ses recommandations fondamentales qui furent présentées dans la publication 26 (1977) de la CIPR, dans un certain nombre de déclarations et amendements ultérieurs ainsi que dans d'autres rapports de la CIPR (Publications 33, 37, 39, 40, 41 et 46).

L'objectif de la révision consiste à examiner et à mettre à jour la ligne de conduite de ces déclarations pour les rendre cohérentes et produire un ensemble unique de recommandations fondamentales, s'appuyant sur des explications et des références à partir de l'information scientifique disponible. Il est prévu que la révision des recommandations soit terminée en 1990, après les travaux préparatoires effectués par les quatres comités d'experts de la Commission et par un certain nombre de groupes de travail adéquats. Ces travaux comportent un examen et une réévaluation de l'ensemble du système de limitation des doses, y compris les limites de doses.

EVALUATION DU RISQUE CANCERIGENE

A cet égard, le travail en cours pour évaluer le risque cancérigène par unité de dose équivalente efficace est d'une grande importance. Des examens d'ensemble du risque sont en cours à l'UNSCEAR et au Comité BEIR-5 américain ainsi qu'au Comité 1 sur les effets biologiques de la Commission. Il est prévu que les résultats de plusieurs études seront disponibles dans moins de 2 ans.

La Commission examine régulièrement les articles concernant le risque et à cet égard un rapport technique publié très récemment par la Radiation Effects Research Foundation, " Effet du changement de la dosimétrie sur les estimations du risque de mortalité par cancer chez les survivants des bombes atomiques", par D.L. Preston et D.A. Pierce, a été examiné par la Commission et par son comité 1.

Ce rapport est reconnu comme donnant un compte-rendu définitif des changements moyens dans les estimations des doses organe résultant de l'exposition aux bombes atomiques de Hiroshima et de Nagasaki, ainsi que de l'accroissement qui en résulte pour les risques estimés d'induction de cancer. Avec la nouvelle dosimétrie "DS 86", cet accroissement du risque est indiqué être d'un facteur de 1.4 environ par rapport à l'évaluation faite à partir de la dosimétrie précédente "T65D", en supposant une efficacité biologique relative raisonnable pour l'exposition aux neutrons telle qu'elle a eu lieu vraisemblablement dans les deux villes.

De plus, bien que n'étant strictement pas un effet de la nouvelle dosimétrie, le suivi plus long (jusqu'en 1985) de l'échantillon de population pour laquelle des doses "DS86" sont jusqu'à présent disponibles, rend possible une estimation plus fiable qu'antérieurement pour un groupe qui était jeune (moins de 10 ans) au moment de l'irradiation. Cette inclusion ainsi que d'autres facteurs indiqués dans la publication, augmentent l'estimation du risque pour la population exposée par un facteur total de l'ordre de 2. Ce changement concerne une population de tous âges alors que pour une population de travailleurs âgés de 18 à 65 ans le changement sera plus faible. Cette information seule, par conséquent, n'est pas considérée comme suffisante pour justifier un changement des limites de dose pour les irradiations professionnelles.

Pour la population dans son ensemble, un accroissement du risque tel qu'il apparaît d'après les données nouvelles ne doit pas être pris en compte pour changer les limites de doses recommandées à la suite de la réduction (en 1985) de la limite principale de 5 à 1 mSv par an (pour les sources autres que le rayonnement médical et le rayonnement ambiant naturel).

Un changement notablement plus important dans les estimations

actuelles de la Commission en ce qui concerne le risque d'induction de cancer pourrait cependant résulter de deux facteurs supplémentaires. En premier lieu s'il se vérifiait que les effets de toute dose était de causer un accroissement général de cancers proportionnel au taux normal d'incidence pour tous les âges considérés (après une "latence" initiale de 5 à 10 ans). Un tel modèle de "risque relatif" pour la prédiction de l'induction des cancers semble décrire les données disponibles jusqu'à présent pour le cancer du sein et probablement pour deux autres formes de cancer (poumon et intestins). Il peut être rejeté pour deux autres formes (leucémie et cancer des os) pour lesquels l'apparition de nouveaux cas a complètement (pour les os) ou en grande partie (pour la leucémie) cessé 25 ans après l'irradiation. On ne sait pas pour quels autres cancers un tel modèle de "risque relatif" s'applique, et s'il s'applique avec un facteur d'accroissement relatif constant pour tout le reste de la vie après l'irradiation. Ce sujet potentiellement important demeure en cours de recherche. En second lieu, la forme de la courbe de réponse à la dose est aussi un facteur important pour l'évaluation du risque aux faibles doses faite à partir des doses élevées. Un facteur de réduction a été utilisé par Preston et Pierce dans leur rapport. Cette relation exige une étude complémentaire.

Puisque les données sur le risque sont loin d'être décisives, la Commission attendra le résultat des évaluations d'ensemble de ses sources d'informations épidémiologique qui existent généralement, avant d'apprécier les conséquences d'une révision de son système de limitation des doses.

Entre temps il sera prudent de suivre les recommandations actuelles sur la limitation des doses en les interprétant tel qu'il était prévu. Si ceci est fait, la valeur des limites de dose, dans la plupart des cas ne sera pas le facteur déterminant pour la restriction des doses ; par conséquent le jugement final sur le choix des limites de doses peut attendre jusqu'à ce que soit fait un examen scientifique d'ensemble sans qu'il y ait des conséquences sérieuses.

Il en est ainsi car l'exigence demandée de garder toutes les doses "aussi faibles qu'il est raisonnablement possible" (optimisation) devrait dans la plupart des situations maintenir les doses très en-dessous des limites de dose. La Commission souhaite attirer à nouveau l'attention

sur ses conceptions, exprimées dans la Publication 26, qu'une exposition près des limites de dose ne serait acceptable que si une réduction de la dose ne peut être raisonnablement effectuée et si la pratique s'est trouvée justifiée. Les limites ne sont pas proposées dans un but de conception des installations mais elles indiquent plutôt la frontière des niveaux de risque qui doivent être considérés comme inacceptables.

RISQUE DE RETARD MENTAL

Un compte rendu est aussi en préparation sur l'effet de la nouvelle dosimétrie sur l'évaluation des risques de retard mental grave causés par l'irradiation des enfants pendant leur développement in utero. On a montré il y a 3 ans que cet effet pourrait être causé pendant la période qui s'étend de la 8e à la 15e semaine après la fécondation, et avec une sensibilité moindre de la 16e à la 25e semaine après la fécondation, mais sans notable sensibilité pour l'induction de ces effets aux autres périodes de la grossesse. La CIPR a publié un important document (Publication 49, 1986) estimant que le seuil de dose pour causer ces effets correspond à une dose nulle dans la première période de la 8e à la 15e semaine, tout en indiquant des intervalles de confiance plutôt larges pour cette estimation.

La nouvelle dosimétrie, bien entendu, ne change pas l'importance des âges pendant la gestation. Une information préliminaire, cependant, indique que les risques estimés peuvent quelque peu augmenter avec la nouvelle dosimétrie, en moyenne d'environ 40 % à 45 % par Gy pour la période la plus sensible.

Il est potentiellement important pour la radioprotection que les analyses préliminaires présentées au comité 1 de la Commission sur les Effets Biologiques indiquent que des seuils significatifs peuvent exister.

Les estimations du risque par la CIPR
Un autre point de vue
(24 novembre 1986)

Extraits

Karl Z. Morgan

Ancien Directeur du Département
de Physique Médicale
Laboratoire d'Oak Ridge (USA)

Ce texte a été présenté par E.P. Radford à la conférence de Londres (nov. 86) sur les effets biologiques des rayonnements ionisants. Il est reproduit dans le livre "Radiation and health" édité par Robin Russell Jones et Richard Southwood. John Wiley and Sons, 1987.

RESUME

La CIPR (Commision Internationale de Protection Radiologique), depuis 58 ans, sert de source internationale d'information sur les risques de l'exposition aux rayonnements ionisants et elle énonce des recommandations pour la protection radiologique.

En général, ses publications ont été d'une grande utilité pour réduire les expositions non nécessaires, mais à certains égards la CIPR a retardé les mesures à prendre pour réduire les expositions excessives. Elle a sous-estimé les risques du rayonnement et a recommandé des niveaux d'irradiation beaucoup trop élevés. Pendant des décennies, elle se montra soucieuse de réduire l'exposition des docteurs et des infirmières, mais ignora la principale source d'irradiation de la population, celle des patients.

A partir de 1960, nous avons pris conscience de deux problèmes sérieux concernant l'exposition au rayonnement (exposition professionnelle dans les mines d'uranium et exposition de la population à la suite d'essais nucléaires militaires). On aurait pu espérer que la CIPR serait la première à essayer de réduire ces expositions, mais elle brilla par son silence. En 1958, la CIPR fixa les limites d'irradiation pour les travailleurs sous rayonnement et les membres du public. Dix-neuf ans plus tard, (en 1977), quand on se rendit compte que le risque de cancer provoqué par le rayonnement était de 10 à 30 fois plus élevé que ce qu'on estimait en 1958, on aurait pu espérer que la CIPR allait recommander une réduction importante des niveaux d'exposition admissibles, mais -et certains d'entre nous en furent consternés- elle les augmenta. Ce fut une grande déception pour nous, en 1977, quand les niveaux de concentration maximale permise de radionucléides dans l'air, l'eau et la nourriture furent augmentés pour un grand nombre des radionucléides les plus dangereux.

L'accident survenu au réacteur de Tchernobyl exige qu'un certain nombre de recommandations soient énoncées par la CIPR. Pour quand pouvons-nous les espérer ?

Il y a des années que la CIPR sert de principale source d'information sur les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants et, depuis 1950, elle est à l'origine de recommandations à grande échelle qui ont été utiles aux différents pays du monde pour établir leurs critères, règles et règlements, concernant la radioprotection.

Certains pays ont accepté les recommandations de la CIPR sans aucun doute , comme s'il s'agissait là de vérités d'évangile ou de positions infaillibles. Peut-être ont-ils été sages, dans la plupart des cas, de s'en remettre ainsi à elles, mais à certains égards je crois que la CIPR n'a pas répondu à leurs espérances, ou justifié une acceptation sans réserve de ses recommandations. C'est pour cette raison qu'il pourrait être utile, je crois, d'examiner ce que nous pourrions considérer comme des insuffisances de la CIPR, et d'attirer l'attention, dans un esprit constructif, sur certains cas où elle a été répréhensible en ignorant volontairement les problèmes d'exposition aux rayonnements, et sur d'autres où elle a énoncé de mauvaises recommandations.

D'autres intervenants que moi sont prévus dans ce programme pour équilibrer les choses en la matière, en énumérant certaines des réussites à l'actif de la CIPR : je leur laisse donc cette discussion. Certaines des erreurs premières de la CIPR reflétèrent les conceptions erronées de la science de l'époque, et la CIPR a été fautive en ce sens qu' elle aurait dû , peut-être, être plus en avance sur son temps.

La faute majeure de la CIPR à ses débuts résulta de la fausse croyance de nombre de ses membres selon laquelle une exposition à bas niveau est inoffensive. Pour beaucoup, le terme "dose de tolérance" signifiait une dose sans danger bien en-dessous du seuil pouvant produire un dommage quelconque. Pendant les années qui suivirent, des études animales et humaines indiquèrent que c'était là une supposition erronée : c'est ainsi que l'hypothèse du seuil fut abandonnée au profit de l'hypothèse linéaire, bien que certaines des

publications de la CIPR donnassent l'impression au lecteur que c'était là certainement une hypothèse des plus conservatrices et des plus prudentes et qui, sans aucun doute, surestimait grandement le risque. Aujourd'hui la CIPR est à une autre croisée des chemins qui indique clairement la voie vers l'hypothèse supra-linéaire : celle-ci non seulement rejette un facteur de sécurité associé à l'application de l'hypothèse linéaire, mais affirme que celle-ci sous-estime le risque de cancer. Les trois hypothèses peuvent s'exprimer sous une forme simplifiée par l'équation $C = aD^n$, dans laquelle **C** est l'incidence ou la mortalité par cancer induit par le rayonnement, **a** une constante à laquelle on se réfère en tant que coefficient de cancérogénèse et **D** la dose en rem. Si **n** est plus grand que 1, nous avons l'hypothèse du seuil, s'il est égal à 1, nous avons l'hypothèse linéaire, s'il est inférieur à 1, nous avons l'hypothèse supra-linéaire. Dans de nombreux cas de cancers induits $n = 1/2$, le risque de cancer croît comme la racine carrée de la dose, de sorte qu'il y a plus de cancers produits par rem à dose faible qu'à dose élevée.

.....

Bien que la CIPR et d'autres organisations aient souvent été contraintes de mentionner les résultats d'études épidémiologiques pour lesquelles le risque de cancer par rapport à la dose de rayonnement était en très bon accord avec la théorie supra-linéaire, elles paraissent le faire à contre-coeur, ce qui implique que quelque chose très certainement serait faux dans les données. Par exemple l'US General Accounting Office (Bureau général de la comptabilité des Etats-Unis) créa un comité d'experts pour évaluer les risques de l'irradiation aux faibles doses. Après l'examen des études sur l'incidence des cancers parmi les patients atteints de spondylarthrite ankylosante qui avaient développé des cancers à la suite des radiothérapies par rayons X qu'ils avaient subies, ce comité conclut que "les deux modèles mixtes testés étaient beaucoup plus valables que le modèle linéaire, et que le modèle inhabituel qui comporte un terme cubique et un terme en racine carrée était le plus approprié. Puisque le terme cubique est négligeable aux faibles doses, ce dernier modèle a une croissance plus rapide que le

modèle linéaire pour le risque de leucémie aux très faibles doses de rayons X".

La CIPR, l'UNSCEAR, le comité BEIR III et d'autres groupes sont rapides à dévaloriser ou à critiquer les études qui justifient l'hypothèse supra-linéaire, comme les études sur les cancers induits in utero d'Alice Stewart, les études sur la teigne (tinea capitus) de B. Modan et al ou l'étude de T.F. Mancuso, A. Stewart et G. Kneale sur les travailleurs sous rayonnement de Hanford, mais ils attendent des années avant de reconnaître, parce qu'obligés, les failles les plus évidentes et les plus graves dans leur référence absolue, inspirée et irréfutable, l'étude des survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki. Ils inventent toutes sortes d'explications sur les raisons pour lesquelles les études précédentes ne sont pas fiables ou admissibles dans la détermination de **a**, le coefficient de cancérogénèse, (**a** = nombre de morts par cancer par rem x personne), mais ils n'arrivent pas à reconnaître les insuffisances de l'étude japonaise.

Voici quelques unes des raisons pour lesquelles l'étude des survivants de Hiroshima et Nagasaki sous-estime le risque de cancer :

1) Les estimations de la dose totale étaient trop élevées, et ainsi, le coefficient de cancérogénèse **a** a été sous-estimé.

2) La dose des neutrons, particulièrement à Hiroshima, était plus basse que l'estimation, par conséquent **a** a été sous-estimé.

3) Certaines évaluations utilisent comme groupe de contrôle le groupe à faible dose. Selon l'hypothèse supra-linéaire, ceci pourrait grandement sous-estimer le coefficient **a**.

4) La population étudiée n'était pas une population normale. Les survivants au bombardement ont été exposés au feu, à l'explosion, aux privations, à des dommages d'ordre psychologique et à de sérieuses atteintes de leur système immunitaire, de sorte que les personnes les

plus faibles, moins résistantes, moururent de diverses maladies ordinaires.
D'autre part, celles dotées d'une vigueur plus grande, ou ceux qu'on appelle les "survivants sains", eurent un taux de mortalité plus bas que la normale 5 ans après le bombardement, quand les études épidémiologiques furent entreprises. Donc, comme l'a expliqué A.M. Stewart, les deux effets tendirent à se neutraliser l'un l'autre, et quand commença l'étude des survivants, le taux de mortalité parut normal, sauf en ce qui concernait le cancer, mais la population, elle, était fort certainement loin d'être normale. C'est ainsi que l'incidence des cancers fut atténuée.

5) Il y a encore maintenant, parmi les survivants, un taux de cancer au-dessus de la normale et celui-ci continuera à accroître la valeur de **a**.

.....

Peut-être que l'une des plus grandes faiblesses de la CIPR tient à sa manière de nommer et d'élire les membres de la Commission principale. Cependant je dois me hâter de dire qu'il est difficile de concevoir une solution parfaite. Les processus de nomination et d'élection ont des failles, parce qu'ils incitent au parti-pris et au choix de membres qui ont un conflit d'intérêts. Ils donnent à certains la tentation de faire de cette fonction une profession à vie, leur assurant une large caution politique en tant qu'autorité en matière de radioprotection. Tout d'abord, la CIPR fonctionne sous les auspices du Congrès international de radiologie (ICR). Il y a là des possibilités de conflit d'intérêts. La CIPR est instituée en principe pour réduire l'exposition non-bénéfique aux radiations, mais plus le nombre de radiodiagnostics est élevé, et plus les rayons X sont administrés de manière routinière et à la chaîne, et plus grande est la demande en radiologie. Dans de nombreux cas, ceci conduit à administrer des rayons X qui ne sont pas nécessaires et à exiger des rayons X pour des raisons plus administratives que médicales.

Certains d'entre nous travaillèrent pendant de nombreuses années pour arrêter le programme de radiographie pulmonaire fait en masse dans les écoles des USA, mais nous n'obtînmes qu'un soutien négatif de nos sociétés radiologiques nationales ou de l'ICR. Selon ce programme des autobus avec un équipement de rayons X par photofluorométrie (radio-photo) s'arrêtaient chaque année dans les écoles, et les enfants (comme des moutons à marquer au fer rouge), étaient conduits en rang pour subir une radio des poumons. Il aurait certes mieux valu qu'ils soient marqués avec un fer texan grésillant, puisque les évaluations faites par mon groupe du Laboratoire National d'Oak Ridge concernant un certain nombre des dispositifs utilisés indiquaient, par cliché, des doses en surface de 2000 à 3000 mR, alors que la dose moyenne de rayons X (pour la poitrine) était seulement de 15 mR dans mes installations à Oak Ridge. Enfin, des années après que le Médecin général des USA ait insisté, à maintes reprises, pour qu'on interrompe ces programmes, et après qu'il ait indiqué qu'on n' avait pas trouvé de cas de tuberculose, ces programmes furent supprimés aux USA.

.....

Un autre exemple de laxisme des sociétés radiologiques américaines et du Collège Américain de Radiologie (ACR) vis-à-vis de la radioprotection est leur peu d'empressement à approuver et à mettre en oeuvre la "Règle des 10 jours". Cette Règle de la CIPR affirmait que les examens par Rayons X de la région abdominale et pelvienne des femmes en âge de procréer devaient être différés dans la plupart des cas et ne devaient être effectués que dans les 10 jours qui suivent le début des menstruations, à moins qu' il n'y ait danger pour la femme. Le Dr Muller et moi-même avons travaillé dur et longtemps pour que la CIPR approuve cette Règle et nous avons été ravis quand elle fut adoptée par la CIPR à la réunion de Londres en 1962. Notre joie fut cependant de courte durée et quelque peu compromise quand, de retour aux USA, je lus dans le bulletin de l' ARC que cette règle était mauvaise ... J'ai été très désappointé de voir que ces dernières années la CIPR a relâché sa position concernant la "Règle des 10 jours"

La CIPR n'a pas profité pleinement des découvertes d'Alice Stewart et de G. Kneale dans leurs études d'Oxford sur l'exposition in utero. La Commission n'a pas à se féliciter du fait que l'exposition professionnelle permissible des femmes enceintes ait été abaissée, de 1.866 mrem en 1962 à seulement 1.708 mrem en 1977. Je crois que ces 1.708 mrem sont beaucoup trop élevés. Ceci correspondrait à environ 6 des pelvimétries typiques effectuées durant la période de l'étude d'Oxford, et à un risque pour l'enfant de mourir de cancer 10 fois supérieur à la normale. Il est probable que très peu de femmes seraient assez insensibles pour permettre que leur enfant à naître soit exposé à cette dose professionnelle de 1.708 mrem, mais beaucoup de travailleurs sous rayonnement ne sont pas conscients du très sérieux avertissement que nous adresse Alice Stewart. Il est certain que de nombreuses industries nucléaires préfèreraient ne pas voir cette information rendue publique. Pire encore, il n'y a rien dans les recommandations de la CIPR qui empêche l'industrie nucléaire de permettre à la jeune femme de recevoir les 5.000 mrem (dose admissible annuelle) dans leur totalité durant les deux mois qui précèdent la reconnaisssance de la grossesse (c'est-à-dire 3 fois les estimations de risque indiquées ci-dessus).

Une des faiblesses de la CIPR tient au renouvellement des 13 membres de la Commission principale. Le règlement spécifie qu'au moins 2 membres et pas plus de 4 doivent être changés à chaque congrès de l'ICR (tous les 3 ans). Il n'y a pas de restriction concernant la durée maximale du mandat d'un membre quelconque de la Commission principale . Plusieurs de ses membres ont siégé à la Commission plus de 20 ans et le renouvellement moyen a été de 3, 7 membres tous les 3 ans. Je pense que ce serait une grande amélioration que de changer le règlement, d'exiger un renouvellement de 4 ou 5 membres tous les 3 ans et de fixer la durée maximum du mandat à 9 ans. Le choix de nouveaux membres est fait tous les 3 ans par les 13 membres de la Commission principale d'après des propositions faites par les délégations nationales de l'ICR et par les 13 membres de la Commission principale. La conséquence en a été un corps qui se

perpétue lui-même.

Je crois qu'il y a eu deux groupes excessivement représentés dans la Commission principale de la CIPR et qui ont très fortement intérêt à minimiser les effets nocifs des faibles doses de rayonnements ionisants. Ce sont des personnes qui souhaitent qu'il n'y ait aucune restriction sur les doses provenant d'un usage excessif des radio-diagnostics par rayons X et celles qui sont associées à "l'establishment" nucléaire : les employés des laboratoires nationaux et ceux associés à des organismes industriels ou gouvernementaux responsables de la promotion des armes nucléaires ou de l'énergie nucléaire. Ces groupes ont besoin d'être représentés, mais j'aimerais les voir contrebalancés par des personnes comme, par exemple, les docteurs Alice Stewart, J. Rotblat, B. Modan et Frank von Hippel, pour ne citer que quelques-uns de ceux, nombreux, qui sont hautement qualifiés.

La CIPR est, depuis 60 ans, considérée par beaucoup comme l'autorité la plus fiable et l'autorité ultime en ce qui concerne la protection contre les radiations, Son échec à entreprendre la modification d'une situation qui conduit à des irradiations fortes non nécessaires doit donc être considéré comme un mauvais service rendu au public. Je vais mentionner quelques-unes de ces fautes par omission dans les exemples typiques suivants :

1) Dans la première période de fonctionnement de la CIPR, les techniciens en rayons X reçurent des instructions au cours de leurs classes préparatoires et dans leurs manuels pour qu'ils donnent des doses plus importantes de rayons X aux noirs. Le département de radiologie de la General Electric Company recommandait, dans les fiches techniques destinées aux techniciens en rayons X, que ceux-ci donnent des doses plus élevées aux noirs, et le manuel "Technologie des Rayons X" par C.A. Jacobs et D.E. Hagen, recommandait pour les noirs des doses qui étaient de 40 à 60 % plus élevées. Pourquoi la CIPR est-elle demeurée silencieuse ?

2) Les doses excessives administrées au cours du programme de masse de radios des poumons à des millions d'enfants continua pendant des années. La dose de rayons X aurait pu être réduite d'un facteur 200 par l'utilisation de meilleurs équipements, mais les dollars importaient plus que la vie des enfants. Pourquoi la CIPR a-t-elle été silencieuse sur ce problème ?

3) Durant la période 1960-65, beaucoup d'articles furent publiés, faisant état d'un risque élevé de cancer des poumons encouru par les mineurs dans les mines souterraines d'uranium dans la région des USA du Plateau du Colorado. Il y eut plusieurs auditions du Congrès aux USA pendant lesquelles beaucoup de scientifiques témoignèrent... Certains étaient partisans de réduire le niveau des doses maximales admissibles dans l'exploitation des mines, d'autres insistaient pour que ce niveau ne soit pas réduit. On ne fut pas surpris de voir la Commission américaine de l'Energie atomique (USAEC) s'opposer à toute réduction du niveau des doses professionnelles mais j'ai été déçu que l'Office de la santé publique américaine et le Conseil fédéral américain pour le rayonnement (USFRC) se soient associés à l'USAEC pour s'opposer à toute réduction des normes.

.....

Mais où était la CIPR tout ce temps-là ? Ce n'est qu'en 1977 que la publication 24 de la CIPR "Protection contre les rayonnements dans les mines d'uranium et autres mines" fut éditée. Cela n'aurait pas dû, pour sûr, demander 20 ans à la CIPR, pour qu'elle décide qu'il y avait là un problème très grave de radioprotection et qu'elle vienne à notre secours. On aurait pu espérer que ce fût là un des premiers manuels de la CIPR, informant des risques du radon 222 et de ses produits de filiation dans les mines souterraines. Ce risque a été reconnu pour la première fois il y a plus de 500 ans, quand les mineurs dans les mines de cobalt de Schneeberg en Saxe et dans les mines de pechblende de Joachimsthal en Bohême mouraient d'une maladie des mineurs, connue maintenant comme étant un cancer induit par le rayonnement.
Il est bon d'avoir le soutien de la CIPR, des années après la bataille

gagnée, mais il aurait été d'un grand secours d'avoir son soutien pour hâter et aider à gagner la bataille plus tôt.

4) Dans la discussion ci-dessus, il a été mentionné que la CIPR, avec l'appui de l'ICR, fit preuve d'un grand intérêt dans la prévention des expositions professionnelles excessives pour les radiologues et leur personnel (mais traîna les pieds en ce qui concerne la publication des premiers rapports conséquents sur la protection des patients). Ces rapports parurent finalement en 1970 et 1982, c'est-à-dire respectivement 42 et 54 ans après les débuts de la CIPR. Ce sont des manuels très utiles, mais actuellement on a besoin de beaucoup plus sur ce sujet.

5) Une des expériences les plus frustrantes auxquelles beaucoup d'entre nous ont été confrontés pendant longtemps concerne les doses élevées administrées à la fois sur le plan local et mondialement pendant les essais des armes nucléaires dans l'atmosphère.
Si l'on accepte l'hypothèse que 150 millions de personnes, dans les zones humides des Etats-Unis, auront reçu au cours de 70 années, la dose pour le corps entier de 130 mrem dont les 3/4 représentent une dose efficace, ceci correspond à 15. 000 morts par cancer, si on adopte le coefficient de risque cancérigène **a** = 0,001 mort par cancer par rem (0,130 x 150.000.000 x 0,75 x 0,001 = 14.625). Les responsables de ces tests ont essayé de minimiser le problème, d'abord en utilisant un coefficient de risque cancérigène qui était trop faible d'un ordre de grandeur, c'est-à-dire **a** = 0.0001, puis en comparant les doses reçues avec celles provenant du rayonnement naturel, c'est-à-dire environ 100 mrem par an, et finalement en faisant des comparaisons avec le taux de mortalité naturelle par cancer de 20 %. En d'autres mots, 15.000 cancers en sus de 30 millions furent considérés comme "négligeables". A mes yeux, ceci est absurde. C'est comme si l'on disait à une mère dont l'enfant se meurt de cancer induit par les radiations de ne pas se faire de mauvais sang parce que 30 millions d'autres personnes dans la zone humide des USA mourront naturellement de cancer.

Quand une nation ou une industrie décide de poursuivre un

programme qui coûte des vies humaines, je considère qu'elle a fixé la valeur d'une vie humaine. Il y a quelques années, notre Commission de contrôle nucléaire (NRC) prit cette décision quand elle fixa la valeur d'un rem à 1000 dollars. Cela signifiait qu'il était justifié que l'industrie nucléaire dépense 1.000 dollars pour empêcher une irradiation de 1 homme x rem*. Si **a** = 0.001 mort par cancer par rem, ceci correspond à 1 million de dollars par vie (1.000 : 0.001 = 1 million). D'autres ont fixé la valeur de la vie humaine à un niveau beaucoup plus bas. Par exemple deux membres de la Commission principale de la CIPR, M. H.H. Dunster et le Dr A.S. Mc Lean ont rendu publique la valeur de 10 à 25 dollars par rem x homme, le prix d'une vie humaine serait alors compris entre 10.000 et 25.000 dollars.

A l'échelle mondiale, la dose moyenne engagée** pour le corps entier à la suite des retombées radioactives des armes nucléaires, est d'environ 5 mrem par an jusqu'en l'an 2000. Ceci causera, selon les prévisions, 1,3 millions de morts par cancer. Je maintiens que ce fait est très important, même si cela ne représente que 0.13 % du total des morts par cancer de la population mondiale. Le fait que d'autres organismes, comme le Comité Scientifique des Nations Unies sur les Effets des Radiations Atomiques (UNSCEAR), se soient intéressés à la question des retombées n'empêche absolument pas la CIPR , autorité mondiale reconnue quant aux effets des rayonnements sur l'homme, de faire entendre sa voix en abordant ce problème et en faisant ce qu'elle peut pour arrêter le massacre de 1 300 000 personnes. Je regrette que la CIPR ait gardé le silence sur ce problème.

Il y a maintenant une question encore plus importante : la CIPR doit-elle, comme les Médecins pour la responsabilité sociale ou l'Internationale des Médecins pour la prévention de la guerre nucléaire,

Notes de l'éditeur

* Cela signifie qu'il n'était pas justifié pour l'industrie nucléaire d'économiser 1 homme x rem sur la dose collective lorsque la dépense excédait 1.000 dollars

** La dose engagée correspond à la dose totale de rayonnement que les individus recevront dans les 70 ans qui suivent l'acte de pollution. Elle tient compte du fait que les individus absorberont pendant de nombreuses années les produits radioactifs relâchés et que ceux-ci demeureront un certain temps, variable suivant le radioélément considéré, dans leur corps, irradiant leurs organes bien longtemps après le moment de la contamination.

rejoindre le combat et aider à empêcher les horribles souffrances qui suivraient une troisième guerre mondiale, souffrances dues, dans une grande mesure, à l'irradiation massive de la population mondiale ? Peut-être répondra-t-on à cette question par un NON ou de la manière typique dont les organismes gouvernementaux résolvent les problèmes.

.....

6) Un rapport de la CIPR sur les accidents majeurs de radioactivité, les problèmes rencontrés et la manière dont ils ont été gérés, aurait dû paraître depuis logtemps. En 1984 la CIPR publia un rapport sur les accidents majeurs de radioactivité, mais celui-ci est très succint, superficiel, et n'aborde pas les situations d'urgence qui ont été vécues lors des accidents de radioactivité qui se sont produits dans de nombreux endroits.

.....

Il est dommage que beaucoup d'informations valables concernant ces accidents n'aient pas été rassemblées et publiées. A l'heure actuelle, celles-ci demeurent seulement dans la mémoire de quelques personnes encore en vie.
Autant que je sache, jusqu'à Tchernobyl, il y avait eu seulement trois accidents majeurs de réacteurs (le réacteur SL-1 le 3 janvier 1961, le réacteur n° 1 de Windscale le 8 octobre 1957 et le réacteur n° 2 de Three Mile Island le 28 mars 1979). Il y a eu une explosion massive, apparemment de déchets mal enterrés dans l'Oural à Kyshtym* en 1957, mais je n'ai eu, sur cet accident, que des informations fragmentaires. Le membre russe de la CIPR pourrrait probablement donner des détails sur

Notes de l'éditeur
* Se référer, pour l'accident de Kystym dans l'Oural, au livre du scientifique dissident soviétique Zhorès Medvedev "Disaster in the Urals" Angus and Robertson Publishers, 1979.

cet accident pour ce manuel de la CIPR si longtemps attendu. Certaines des informations que j'ai en mémoire auraient pu être de quelque secours au moment de l'accident de Tchernobyl. Je voudrais

mentionner ici quelques expériences personnelles qui suggèrent le genre d'informations qui devraient être données dans ce manuel de la CIPR - qui aurait dû être rédigé il y a bien des années.

a) Sur les lieux de l'accident du SL-1, les hommes qui montèrent en courant l'escalier du bâtiment du réacteur pour essayer de se sauver étaient dans un épais nuage de poussière et dans un champ de rayonnement de plusieurs centaines de rem par heure. Ils ont certainement reçu de très fortes doses aux régions nasopharyngées et trachéobronchiales des poumons, ainsi qu'au tractus gastro-intestinal par inhalation de grandes quantités de particules de poussière. Il est dommage que des échantillons de matières fécales et d'urine, ainsi que de sang et de crachats n'aient pas été rassemblés et analysés après cette exposition. Les données de l'autopsie des trois corps (de ceux pris dans l'explosion et récupérés dans les décombres du bâtiment du réacteur) fournirent des informations extrêmement utiles sur la nature et la cause de l'accident.

b) Après l'explosion de la cuve de traitement chimique au Laboratoire National d'Oak Ridge en 1965, il a été très important que nous nous approchions du lieu de l'accident munis de dosimètres pour neutrons. Bien qu'on ne l'ait pas su à l'époque, on s'aperçut plus tard qu'il y avait dans cette cuve suffisamment de plutonium pour que l'on ait plusieurs ensembles critiques*. A tout moment, le liquide aurait pu conduire à une configuration critique (explosive). Au cours de l'explosion, une grande quantité de plutonium fut soufflée au dehors, sur un bâtiment adjacent et jusqu'à une route. Moins de 4 heures après

l'accident, nous avions goudronné la route et arrosé de peinture le bâtiment adjacent. Plus tard, la route fut déposée morceau par morceau, le tout fut placé dans des containers de plastique et envoyé au lieu

Notes de l'éditeur

* On dit qu'un ensemble contenant une matière fissile (uranium 235 ou plutonium 239) est critique quand sa géométrie est telle qu'une réaction en chaîne de type explosion est possible. La condition de criticité (d'explosion nucléaire) demande moins de matériau nucléaire lorsqu'il est en milieux aqueux. L'arrivée d'eau dans un ensemble sous-critique (non-explosif) peut rendre cet ensemble critique

prévu officiellement pour l'enfouissage. Plus tard, le bâtiment fut démonté et les morceaux furent placés dans des containers et enterrés soigneusement.

J'ai vu des photos de Tchernobyl où on lavait à grande eau les bâtiments et les routes. C'est à l'opposé de ce que je recommanderais, sauf en ce qui concerne la contamination par des radionucléides à vie courte.

c) Dans l'accident Y-12 mentionné plus haut, j'avais toutes sortes de compteurs en entrant dans ce bâtiment et en me dirigeant vers l'assemblage critique muni de mes instruments , mais ce que je n'avais pas avec moi, c'était un des instruments les plus nécessaires, une simple lampe électrique de poche pour voir et lire les compteurs, car l'électricité était maintenant coupée dans ce labyrinthe qu'était ce bâtiment sans fenêtres. Dans les accidents majeurs, des choses importantes mais simples manquent souvent. Par exemple, les pompes à essence peuvent ne pas marcher parce que l'alimentation est hors service.

d) Quand j'ai visité Windscale quelques jours après l'accident, on m'a parlé de deux problèmes majeurs :

1/ ils n'ont pas disposé assez tôt de leur aviation légère pour la surveillance aérienne ;

2/ la confusion totale qui se manifesta à certains moments aurait pu être évitée s'ils avaient eu un centre de communications bien équipé, prêt et disponible au moment de l'accident. Ni l'une ni l'autre de ces deux choses n'ont été disponibles à Three Mile Island ou à Tchernobyl. Si la CIPR consent à préparer ce manuel sur les accidents, il se peut que le personnel d'urgence soit mieux préparé à faire face aux prochains accidents majeurs de réacteur nucléaire.

e) Peut-être la CIPR (dans ce manuel qu'on propose de faire) pourrait-elle donner des conseils sur la manière d'éteindre un feu de graphite, d'uranium ou de zirconium ? Nous avons eu un incendie à l'arrière de notre réacteur au graphite au Laboratoire National d'Oak

Ridge, pendant la visite de sir John Cockcroft à la fin des années 40. Il fut convaincu de la nécessité d'avoir des filtres sur le circuit de refroidissement du réacteur avant que le nuage de poussière et de fumée ne s'élève dans la cheminée vers l'atmosphère. Hélas, quand il revint en Grande-Bretagne, la cheminée de Windscale était déjà à moitié édifiée. Mais rien ne pouvant arrêter un grand savant, une immense salle de filtrage fut construite à mi-chemin dans la cheminée. Cette salle fut connue sous le nom de "La folie de Cockcroft", mais elle évita en partie le pire lors de l'incendie du graphite à Windscale, le 8 octobre 1957.
Déjà à Oak Ridge et à Windscale, et récemment à Tchernobyl on utilisa avec beaucoup d'angoisse de l'eau pour éteindre l'incendie. Cependant, à Tchernobyl, l'eau a probablement réagi au contact des métaux très chauds et du graphite, pRoduisant de grandes quantités d'hydrogène. Quand j'étais à Windscale au moment de l'accident, au début d'octobre 1957, je fus embarassé en constatant que, même si les filtres proches du sommet de la cheminée étaient saturés d'eau, ils avaient retenu la plus grande partie des strontium 89 et 90, des césium 134 et 137 et des iodes 131, 132, 133, 134, 135. Comment cela se faisait-il ? On me dit alors que des vapeurs denses provenant du bismuth 209 qui était emmagasiné dans la partie incendiée du réacteur avaient agi comme des noyaux de condensation et rendu les filtres efficaces, alors même qu'ils étaient saturés d'eau. Je savais, bien entendu, que le bismuth 209 était dans ce réacteur pour produire le polonium 210 utilisé comme détonateur à neutrons employé alors dans nos bombes atomiques. Aussi gardai-je ceci comme un sombre secret dans ma mémoire jusqu'à il y a quelques années, lorsque fut rendue publique l'information selon laquelle le polonium 210 était l'un des produits des retombées radioactives de Windscale en 1957.

7) Un sujet qui, je pense, devrait être soigneusement suivi par la CIPR et à propos duquel elle pourrait faire d'utiles recommandations, est celui de l'homme x rem par an dans les différentes installations nucléaires. Ce sujet devrait être abordé en termes d'homme x rem par an et par installation, et d'homme x rem par an pour 1.000 mégawatts électriques. Il est étonnant de noter que certaines installations nucléaires sont, à cet

égard, plus satisfaisantes que d'autres, et ceci avec des facteurs de qualité supérieurs de plus d'un ordre de grandeur.

8) Un dernier exemple de la négligence de la CIPR, du moins à mes yeux, concerne sa façon d'aborder le problème du rejet dans l'environnement des radionucléides les plus inquiétants de l'industrie nucléaire, sans le traiter d'une façon approfondie.
Nous pensons ici au tritium, au carbone 14, aux strontium 89 et 90, à l'iode 131, aux césium 134 et 137, aux gaz rares, etc ... Une telle publication pourrait aider à répondre à des questions nombreuses et fréquentes, telles que : quels sont les risques génétiques de ces radio-nucléides ? La CIPR était-elle en droit de réduire le facteur de qualité du rayonnemnet béta de basse énergie du tritium de 1,8 à 1,0, quand la théorie suggère que la valeur 2 est plus appropriée ? Pourquoi certaines centrales nucléaires relâchent-elles dans l'environnement, de manière routinière, 100 fois plus de produits de fission que la moyenne des installations ? Des efforts supplémentaires doivent-ils être faits pour réduire les gros rejets routiniers de gaz rares et de tritium par les installations industrielles nucléaires ? Ces installations doivent-elles contrôler les rejets de carbone 14 ?

Dans ce qui précède, j'ai discuté de ce que je considère comme des faiblesses par omission de la CIPR et donné quelques exemples typiques. Peut-être y a-t-il beaucoup de faiblesses de la CIPR, mais dans ce qui suit, je n'en discuterai qu'une seule, la publication 26 de la CIPR et la manière dont il en a résulté un accroissement des valeurs de la concentration maximale admissible pour de nombreux radionucléides parmi les plus communs et les plus dangereux, tels les strontium 89 et 90, l'iode 131, les plutonium 238, 239 et 240. Les valeurs recommandées maintenant par la CIPR sont plus élevées que celles proposées en 1959 dans la publication 2 de la CIPR quand j'étais président du Comité de la CIPR pour les doses de contamination interne. Cet accroissement pourrait se justifier si le risque de cancer dû aux radiations était bien moindre que nous le pensions il y a presque 30 ans, mais c'est juste le contraire. Aujourd'hui, le risque cancérigène du rayonnement, on le sait, est supérieur au moins d'un ordre de grandeur

(10 fois plus grand) à ce que l'on croyait en 1959.

Durant les dernières années où j'ai été un membre actif de la Commission principale de la CIPR, nous avons discuté d'une incohérence dans nos concepts de base pour les doses de contamination interne. En effet les valeurs des concentrations maximales admissibles étaient basées sur des concentrations dans l'air, l'eau, la nourriture qui, à la fin d'une exposition d'ordre professionnel de 50 ans, conduiraient à des doses de 5 rem par an pour le corps entier, les gonades et la moelle osseuse, 30 rem par an pour les os, la thyroïde et la peau, et 15 rem par an pour tout autre organe parmi les organes critiques (habituellement l'organe qui concentrait le plus le radionucléide considéré). En bref, notre Comité pour les doses de contamination interne était critiqué, car il utilisait la même limite de dose pour les gonades et la moelle osseuse que pour le corps entier parce que, si le corps entier était exposé à 5 rem par an, les gonades et la moelle osseuse seraient également exposées à 5 rem par an. Une exposition partielle du corps était, on le savait, moins nocive qu'une exposition de tout le corps, aussi la dose permise pour le corps entier ne devait pas être la même que celle concernant les gonades et la moelle osseuse.

Il me semblait que la solution était très simple : réduire la dose permise pour le corps entier à 2.5 rem par an. Cependant, certains membres sentirent que cela représenterait une difficulté pour l'industrie nucléaire et que nous devions maintenir la limitation de la dose concernant le corps entier à 5 rem par an pour les travailleurs de l'énergie nucléaire, tant pour les irradiations externes que pour les contaminations internes. J'adoptai la thèse selon laquelle la limite de 5 rem par an, pour les irradiations externes et internes, étaient trop élevées, et qu'elle devait être réduite pour être plus en conformité avec nos conceptions suivant lesquelles le risque cancérigène du rayonnement était plus grand que nous pensions quand les limites avaient été initialement fixées .

Malheureusement, en 1977, quelques années après que j'aie changé de statut et que je sois devenu membre emeritus, les

Recommandations de la CIPR-26 furent adoptées, qui admettaient comme limites de dose pour une période de travail de 50 ans une irradiation de 5 rem par an pour le corps entier, de 20 rem par an pour les gonades (accroissement par un facteur 4), 42 rem par an pour la moëlle osseuse (accroissement par un facteur 8,3), 42 rem par pour les poumons (accroissement d'un facteur 2,8), 50 rem par an pour la thyroï de et la surface des os (accroissement d'un facteur 1,7) et 33 rem par an pour les seins (accroissement d'un facteur 2,2).

Pendant que j'étais encore un membre actif de la CIPR (avant d'être devenu membre emeritus) nous avions également discuté qu'avec la venue de l'ère des ordinateurs, nous pourrions être plus sophistiqués et calculer les concentrations maximales admissibles non simplement sur la base de la dose reçue par un organe dit critique à partir des radionucléides qui étaient fixés sur cet organe, mais aussi à partir de ceux qui étaient fixés dans tous les organes du corps et qui irradiaient l'organe critique (appelé maintenant organe cible). J'ai le plaisir de dire que les publications 26 et 30 de la CIPR suivirent cette suggestion, et ceci a abouti à une amélioration par rapport à la CIPR-2. Si ce changement récent n'avait pas eu lieu, toutes les concentrations maximales admissibles actuellement fournies par les CIPR 26 et 30 seraient augmentées. Je ne vois pas de justification à ce qu'aucune de ces valeurs soit plus grande que celles qui furent fixées en 1959 lors de la publication de la CIPR-2.

.....

Dans une liste de 46 radionucléides il y a 36 cas où les concentrations maximales admissibles dans l'air ont été augmentées et 10 cas où il y a diminution. Pour les concentrations maximales admissibles dans l'eau ou dans la plupart des aliments, il y a 35 cas où elles sont supérieures et 19 cas où elles sont plus faibles. Je crois que toutes les valeurs devraient être plus basses. Le rapport du nombre de radionucléides dont la concentration maximale admissible est augmentée et celui des

éléments pour lesquels elle diminue est sensiblement le même pour les 200 radio-éléments classés dans la CIPR-2.

Il me semble intéressant de noter que quand la CIPR 26 fixa le tableau des facteurs de pondération pour les différents organes afin d'obtenir les nouvelles limitations de dose d'exposition professionnelle (ou la dose limite engagée par année) dans le but d'éliminer l'incohérence mentionnée plus haut et depuis longtemps reconnue, elle fit ce qui équivaut à sauter de la poële dans le feu, avec une démarche plus incohérente encore. En utilisant les facteurs de pondération qu'elle a adoptés, la dose limite pour la thyroï de et les surfaces osseuses se trouve être 167 rem par an. Bien que tous les systèmes de limitation des doses professionnelles soient établis pour limiter les dommages stochastiques (les effets cancérigènes du rayonnement en particulier), la CIPR était alors confrontée au fait que 167 rem par an pouvaient conduire, chez les travailleurs de l'énergie nucléaire, à des effets biologiques non stochastiques. Ceci, bien sûr, ne pouvant être toléré et la CIPR s'en sortit en adoptant la valeur de 50 rem par an pour la dose limite, sans raison valable ni justification en termes de cancer radio-induit.

Dans ce qui précède, il est indiqué que la CIPR a maintenant augmenté la dose limite pour tous les organes du corps pris individuellement, sauf quand le corps entier est lui-même l'organe critique, c'est-à-dire quand le radionucléide est réparti assez uniformément à travers le corps, comme ce serait le cas pour le tritium dans l'eau tritiée (HTO).

.....

CONCLUSION

En conclusion, je souhaite insister à nouveau sur le fait que j'ai limité cette discussion à la critique de l'activité de la Commission principale de la CIPR dans l'accomplissement de ses tâches et les lacunes de son travail pendant les 60 années écoulées. En ceci, je me désigne du doigt tout autant que les autres, puisque j'étais l'un des 13 membres pendant 20 ans. Certains des comités de la CIPR ont fait un excellent travail. Mes critiques majeures à l'égard de la Commission principale portent sur le fait que, dans de nombreux cas, elle n'a pas été à la hauteur de situations importantes mettant en jeu des expositions élevées aux rayonnements ionisants, ou qu'elle a été inutilement lente à réagir, et qu'elle a augmenté les niveaux d'irradiation admissibles à une époque où ceux-ci auraient dû être diminués.

REFERENCES

TAYLOR L.S. Radiation Protection Standards . CRC Press, Cleveland, Ohio, US.

Report to the Congress of the United States Problems in Assessing the Cancer Risks of Low-Level Ionizing Radiation exposure . 2 January 1982, Vol. 2, EMD-81-1

MORGAN K.Z. Underestimating the risks . in KAKU M. and

TRAINER J Nuclear power : both sides, chapter 2 . Norton W.W. & Co New-York and London.

STEWART A.M. Delayed effects of A-bomb radiation : a review of recent mortality rates and risk estimates for five-years survivors . J. of Epidemiology and Community Health, 1982, 36 : 80-86

McCLENAHAN Wasted X-rays . Radiology, Aug. 1970, 96 : 453

STEWART A.M. & KNEALE G. Radiation dose effects in relation to obstretic X-rays and childhood cancer . Lancet, 6 June 1970, 1185

ICPR - 6 Recommendations of ICRP . 1962.

ICRP - 26 Recommendations of ICRP . 1977

KNEALE G.W. & STEWART A.M. Prenatal X-rays and cancer : futher tests of data from the Oxford Survey of Childhood Cancers . Health Phys., 1986, 51, 3, 369

NADER R. Wake up America, unsafe X-rays . Ladies Home Journal, 1968, 85, 126

U.S. Federal Radiation Council Guidance for the control of radiation hazards in Uranium Mining . Report N°8 (revised), Sept 1967, US Supt of documents, US Govt Printing Office, Washington DC 20402, US.

ICRP - 24 Radiation Protection in Uranium and Other Mines . 1977.

ICRP - 16 Protection of the Patient in X-Ray Diagnosis . 1970.

ICRP - 34 Protection of the Patient in Diagnostic Radiology . 1982

US Federal Radiation Council Revised Fallout Estimates for 1964-1965 and Verification of the 1963 Predictions . Report N°6, October 1964, US Supt of Documents, US Govt Printing Office, Washington, DC 20402, US .

US Federal Radiation Council Estimates and Evaluation of Fallout in the United States from Nuclear Weapons Testing Conducted through 1962 . Report N°4, May 1963, US Supt of Documents, US Govt Printing Office, Washington, DC 20402, US .

ICRP - 22 Implications of Commission Recommendations That doses Be Kept as Low as Readily Achievable . 1973

BEIR - III Report The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation : 1980 . Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, National Research Council

LISCO H., FINKEL M.P. & BRUES A.M. Carcinogenic Properties of Radioactive Fission Products and Plutonium . Thirty-Second Annual Meeting of the Radiological Soc. of North Amer., 2 Dec. 1946

ICRP - 40 Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents : Principles for Planning . 1984

MORGAN K.Z. & TURNER J.E. Principles of Radiation Protection . Krieger R.E. Pub. Co., 1973

JOHNSON C.J. Cancer incidence in an area contaminated with radionuclides near a nuclear installation . Ambio, 10, 176 (1981)

FRANKE B. & ALVAREZ R. External gamma radiation around the Savannah River plant . Ambio, 1983, 14, 2, 104

MEDVEDEV Z. Facts behind the Soviet nuclear disaster . New Scientist, 30 June 1977

MEDVEDEV Z. Winged messengers of disaster . New Scientist, November 1977

MOELLER D.W., SUNT L.C. & CASTO W.R. Personnel overexposures at commercial nuclear power plants . Nuclear Safety, July - Aug. 1981, 22, 4, 498

KASPERSON R.E. Closing the protection gap : setting health standards for nuclear power workers . Environment, Dec 1982, 24, 10, 14

ICRP - 30 Limits for Intakes of Radionuclides by Workers . Part 1, Vol 2, N°3/4, 1979 : Part 1, Vol 3, N°1-4, 1979 : Part 2, Vol 4, N°3/4, 1980 : Part 2, Vol 5, N°1-6, 1981 : Part 3, Vol 6, N°2/3, 1981 : Part 3, Vol 7, N°1-3, 1982

ICRP - 42 A Compilation of the Major Concepts and Quantities in Use by ICRP . 1984

Le dossier de la Commmission Internationale de Protection Radiologique

Extraits

Patrick Green

Consultant en Radioprotection auprès auprès de Friends of the Earth . UK

Patrick Green est Conseiller scientifique auprès de Friends of the Earth (UK) pour tous les problèmes liés au rayonnement . Le texte ci-joint est extrait d'un article qu'il a présenté à la conférence Européenne "Radiation and Health" organisée par Rosalie Bertell à Amsterdam, 23-24 mai 1987.

EXTRAITS

La controverse sur les effets des faibles de doses de rayonnement ionisant naquit au début des années 50 quand on commença à s'inquiéter ouvertement de la possibilité d'effets génétiques comme conséquence du programme de tests de bombes dans l'atmosphère [1]. La position officielle, à cette époque était qu'il existait un seuil, dose de tolérance en-dessous de laquelle aucun effet nocif ne se manifesterait pendant toute la vie d'un individu exposé [3]. Les recommandations de 1950 de CIPR réduislrent la dose limite d'exposition du corps entier de la valeur de 1 r par semaine [2] en 1934 à 0,3 r par semaine soit 15 rem par an. Pour une durée de vie de 50 ans la dose cumulée permissible aurait été de 750 rem.

La CIPR déclarait :

"La valeur de 1 r par semaine adoptée précédemment par la Commission Internationale de Protection contre les Rayons X et le Radium semble très voisine de la valeur probable du seuil d'apparition d'effets nocifs, en particulier pour les rayonnements de haute énergie qui sont rencontrés beaucoup plus fréquemment qu'auparavant" et elle ajoutait : *"Il est fortement recommandé que tous les efforts soient faits pour réduire les expositions de tous les types de rayonnements ionisants à la plus faible valeur possible"* [3].

Cependant la littérature scientifique publiée à cette époque montre qu'il était connu, du moins pour les effets génétiques, qu'il n'y avait pas de seuil [4-5].

Tout au long des années 50 de nombreux scientifiques ont reconnu que la dissémination provoquée par les tests atmosphériques des armes nucléaires posait un risque génétique à l'humanité [6]. En 1955 la CIPR ne recommandait aucun changement dans la dose admissible d'irradiation du corps entier [7].

En 1956 un rapport de l'Académie Nationale des Sciences des USA (NAS) sur les effets biologiques des radiations atomiques (BEAS) fut publié. La section NAS-BEAS de la Commission de génétique recommandait l'utilisation d'une courbe de réponse effet/dose, linéaire et sans seuil pour prédire le risque des effets génétiques résultant d'une

exposition aux faibles doses. De plus, il était recommandé qu'aucun travailleur ne puisse recevoir une dose totale cumulée de 50 rem aux cellules de reproduction jusqu'à l'âge de 30 ans et pas plus de 50 rem additionnels de 30 à 40 ans. Ceci correspondait à limiter la dose annuelle des travailleurs à 5 rem [6;8]. Ce sont ces recommandtions qui ont été adoptées par la Commission Internationale de Protection Radiologique à la réunion de 1956 [9] et publiées en 1959 en tant que Publication n° 1 de la CIPR [10].

La publication n° 1 discutait de l'hypothèse antérieure de l'existence d'un seuil ou dose de tolérance. Il était dit :

"L'hypothèse était basée, en grande partie, sur l'expérience radiologique qui indiquait qu'une réparation substantielle de la peau s'opérait dans les quelques mois suivant une irradiation thérapeutique à dose modérée et que la période de latence pour l'apparition des effets à long terme (cancer de la peau) résultant d'un dommage résiduel de la peau était d'autant plus longue que la dose d'irradiation était faible (ou le débit de dose dans le cas d'une irradiation chronique). Ainsi, pour un travailleur professionnellement exposé au rayonnement, l'effet à long terme pourrait ne pas apparaître de son vivant, même si un certain degré de lésion permanente avait été occasionné". La publication n° 1 de la CIPR montre que la CIPR avait reconnu que les effets génétiques étaient beaucoup plus importants que ce qui était admis auparavant. Elle décrit comment la dose limite de 5 rem a été choisie, insistant sur le fait que ce choix, d'après les membres de la CIPR, était l'approche la plus prudente possible :

"Les estimations faites par différentes institutions scientifiques et internationales indiquent qu'une dose aux gonades de 6 à 10 rem par individu, cumulée depuis la conception jusqu'à l'âge de 30 ans pour toutes les sources artificielles de rayonnement, imposerait un fardeau génétique considérable à la société, mais ce fardeau additionnel peut être considéré comme tolérable et justifié en regard des bénéfices que l'on peut attendre de l'expansion des applications pratiques de l'énergie atomique. Il y a actuellement une grande incertitude concernant l'importance de ce fardeau génétique, aussi est-il hautement désirable de maintenir l'exposition de larges populations à un aussi faible niveau que possible compte tenu également de la nécessité de s'approvisionner

en nouvelles sources d'énergie pour tenir compte des besoins de la société moderne. Une dose génétique de 10 rem, toutes sources artificielles confondues, est considérée par la plupart des généticiens comme un maximum absolu et tous préféreraient une dose plus faible. Dans quelques pays la dose génétique provenant des pratiques médicales a été estimée à environ 4,5 rem. En conséquence, si la limite de dose génétique est de 6 rem pour toutes les sources artificielles, ceci limiterait à 1,5 rem la dose autre que médicale. Ceci imposerait des restrictions inacceptables dans ces pays. Aussi la Commission recommande-t-elle, pour des raisons de nécessité pratique, que les expositions médicales soient traitées à part et soient maintenues au niveau le plus bas compte tenu de la pratique médicale moderne. (...)

Au vu de ces considérations la Commission recommande une limite de 5 rem comme dose génétique pour toutes les sources artificielles de radiation, irradiation médicale exceptée" [10].

Cette déclaration montre clairement que la considération dominante pour la fixation des limites d'exposition était l'industrie nucléaire et ce, malgré toute l'information disponible sur les contraintes génétiques. C'est pour cette raison que la CIPR décida d'exclure l'irradiation médicale de la dose maximale annuelle sinon l'expansion de l'énergie nucléaire aurait pû se trouver freinée par l'adoption d'une dose limite annuelle de 1,5 rem. Si cette position n'avait pas été prise, l'industrie nucléaire aurait-elle pu présenter l'électricité d'origine nucléaire comme économiquement valable? On peut spéculer sur ce fait.

En excluant l'irradiation médicale et en fixant à 5 rem l'exposition annuelle professionnelle la Commission a choisi une norme que l'industrie nucléaire pouvait réaliser. Ce point de vue est confirmé dans ce qui suit, extrait de la Publication 1 :

"Administrativement, des règles de sûreté libérales ont souvent été utilisées dans les installations nucléaires importantes. Il en résulte qu'en général l'exposition du personnel est actuellement maintenue à des niveaux bien en-dessous des doses limites permises."

La Commission ajoutait également :

"Il est de la plus grande importance de s'assurer que rien n'est fait maintenant qui puisse s'avérer être un danger sérieux pour l'avenir

qui ne pourrait être rectifié ou qu'il serait très onéreux de corriger. La Commission est consciente du fait qu'un bilan correct entre les risques et les bénéfices ne peut pas encore être effectué car il nécessite une évaluation beaucoup plus quantitative qu'il n'est possible de le faire aujourd'hui, à la fois des dangers biologiques probables et des bénéfices probables."

Il est difficile de concilier cette déclaration avec l'affirmation de la CIPR selon laquelle elle a adopté l'approche la plus prudente ("conservatrice") possible.

Sur la question de savoir si l'énergie nucléaire était bon marché la Commission déclarait :

"(...) beaucoup plus important, la pression exercée pour produire de l'énergie à bon marché pourrait très bien conduire à abolir les facteurs de sécurité mentionnés plus haut."

Cette déclaration contraste avec les déclarations publiques des conférences internationales sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique qui affirmaient que l'énergie nucléaire était sans danger et produirait de l'électricité à un prix trop bas pour pouvoir être évalué. Les déclarations de la CIPR 1 suggèrent que ses membres étaient peu disposés à recommander des doses limites plus contraignantes de peur d'affecter d'une façon défavorable les performances économiques de l'industrie nucléaire.

L'opinion selon laquelle on savait, au moins onze ans avant que cela soit admis officiellement par la CIPR en 1959, qu'il n'existait pas de seuil pour les effets génétiques, s'appuie sur des documents obtenus en Grande Bretagne auprès du "Public Records Office" (Archives Publiques). Tous les documents du gouvernement britannique sont classés secrets pendant 30 ans avant d'être accessibles au public.

Un texte, maintenant accessible, de D.G. Catcheside, membre du Comité Médical des application biologiques et médicales de la physique nucléaire, sous-comité de radioprotection, déclare :

"Toutes les expériences quantitatives montrent que même les plus petites doses de radiation produisent un effet génétique, il n'y a pas de seuil de dose en-dessous duquel il n'y aurait pas induction d'effet génétique. Des doses inférieures à 0,1 r par jour ont été utilisées sur des souris. Les effets sont cumulatifs, quelques effets étant additifs ou

directement proportionnels à la dose totale. D'autre effets, produits par des rayonnements particuliers, ont une fréquence qui augmente en fonction de la dose avec une puissance comprise entre 1 et 2 tant que la dose n'est pas très faible. Quand les niveaux de dose sont faibles ces effet deviennent additifs... Il est très probable que les taux de mutation par roentgen caractéristiques des plantes inférieures et des animaux sont également valables par l'homme" [9].

D.G. Catcheside a été plus tard membre de la Commission 1 de la CIPR pour l'établissement des doses admissibles de rayonnement externe, de 1953 à 1959. Deux mois après la publication de l'article de D.G. Catcheside, un membre du groupe de travail sur les doses tolérables (Tolérance Dose Panel) de la sous-Commission de Radioprotection, le Dr D.E. Lea envoya un mémorandum à tous les membres du groupe. Il commence son mémorandum par l'acceptation des conclusions de Catcheside :

"En écrivant ce mémorandum je suppose que tous les membres du groupe connaissent et acceptent l'étude de D.G. Catcheside sur les effets génétiques des rayonnements."

Au sujet des observations de Catcheside sur les effets nocifs dus aux mutations génétiques récessives, Léa affirme :

"Il n'y aura aucun moyen de prouver que les anomalies de l'enfant" ... (d'un travailleur exposé au rayonnement) ... "ont été causées par l'exposition professionnelle de son père ou sa mère et ainsi la question du risque d'indemnisation ne peut se poser"

Cette affirmation est répétée en ce qui concerne les observations de Catcheside sur la semi-stérélité héréditaire :

"Il sera impossible de prouver si l'effet, dans quelque cas que ce soit, a été causé par le rayonnement et ainsi la question du risque d'indemnisation ne peut se poser."

Le mémorandum de Léa se terminait par :

"Aussi longtemps que moins de 1 % de la population est exposé aux radiations il est improbable d'avoir une augmentation perceptible de l'incidence des anomalies héréditaires." [10].

Bien que le texte de Léa recommande d'accepter l'observation de Catcheside selon laquelle il n'y a pas de dose de radiation en-dessous de laquelle il ne résulterait pas de dommage génétique, il ne

recommande pas pour autant de rendre les normes plus strictes. Au contraire il accepte implicitement qu'il en résultera un dommage génétique, chez les enfants des travailleurs exposés. Toutefois, comme la preuve d'un lien causal ne pourra être faite, on n'encourt pas le risque d'être déclaré responsable. Manifestement encourir plus tartd le risque d'être responsable était plus important pour Léa que les dommages génétiques causés aux enfants des travailleurs exposés aux radiations.

L'article de Catcheside a été dicuté en 1948 à une réunion de la sous-Commission de Radioprotection (au London Hospital). A cette réunion assistaient le Professeur Mayneord et sir Ernest Rock-Carling. Tous deux furent membres de la CIPR au cours des années 50 : Rock-Carling a été le Président de la CIPR de 1950 à 1956. A cette réunion le Pr Mayneord déclara que la question des effets génétiques avait été discutée par le Tolerance Dose Panel. Dans le Procès-verbal de la réunion il est écrit :

"à cette époque le sentiment était que les effets génétiques causés par le rayonnement n'étaient pas les facteurs de limitation pour la règlementation des doses. Pour le moment il est très improbable que la population dans sa totalité reçoive des doses de rayonnement susceptibles d'avoir de la gravité."

Le procès-verbal poursuit en disant que la Commission a envisagé la possibilité de faire une enquête parmi les médecins radiologistes et le personnel de radiologie et a discuté pour savoir si une telle enquête donnerait des renseignements sur les éventuels effets néfastes liés à leur exposition au rayonnement, altération de leur féconditité ou de la normalité de leur descendance. Plusieurs membres de la Commission pensaient qu'une telle étude donnerait des informations utiles sur les effets génétiques chez l'homme en relation avec les rayonnements. Les minutes de la réunion notent "même des renseignements négatifs seraient précieux" et "des renseignements positifs agiraient comme indicateurs d'une possible sous-estimation des risques". Cependant, il fut décidé "sur la suggestion du Professeur Mayneord que toute la question soit renvoyée pour réexamen au Groupe de travail sur les Doses de tolérance". Le Pr Mayneord et sir Ernest Rock-Carling furent tous les deux amenés plus tard à travailler avec les Autorités

Britanniques de l'Energie Atomique (United KIngdom Atomic Energy Authority, UKAEA). Il est clair que par ses déclarations le Pr Mayneord avait fait siennes les conclusions de Léa selon lesquelles les effets génétiques des rayonnements n'étaient pas le facteur de limitation pour le système de radioprotection, à condition que la population exposée soit numériquement faible. Si c'était le cas, tout effet génétique qui en résulterait ne pourrait pas être détecté, ou s'il l'était, la preuve ne pourrrait pas être faite que le rayonnement en était la cause. Ainsi, ils (le gouvernement) ne pourraient être tenus pour responsables.

Le procès-verbal a aussi enregistré que le Dr Lauriston Taylor, secrétaire suppléant de la Commission Internationale de Protection Radiologique avait écrit au Pr Mayneord *"votre Comité National de Protection m'a envoyé la copie de leur code, avec les points spécifiques qu'ils aimeraient voir inclus dans les nouvelle recommandations internationales."*

La CIPR n'a pas inclus cette information dans ses recommandations de 1950 mais a continué à parler en termes de dose de tolérance jusqu'à ce que les recommandations de 1959 soient publiées. Comme le Pr Mayneord et Sir Rock-Carling étaient tous deux membres du "Tolerance Dose Panel" et membres influents de la CIPR au début des années 50, et que D.E. Catcheside était membre du Comité 1 de la CIPR sur la "Dose permissible pour le rayonnement externe" pendant la même période, il est difficile d'expliquer cette anomalie. Elle pourrait suggérer que les preuves des effets génétiques des radiations ont été "négligées" de façon à ne pas gêner le développement des programmes nucléaires militaires et civils. La question de la responsabilité en ce qui concerne les indemnisations est particulièrement pertinente quand on considère la façon dont s'est comporté le gouvernement britannique lors des tests de bombes atomiques en Australie et à l'Ile Christmas.

REFERENCES

[1] . **ICRU (1951)** International Recommendations on Radiological Units ; Revised by the International Commission on Radiological Units at the Sixth International Congress of Radiology . London, July 1950 British Journal of Radiology, 24 : 54-56

[2] . **IXRPC (1934)** International Recommendations for X-Ray and Radium Protection ; Revised by the International X-Ray and Radium Protection Commission at the Fourth International Congress of Radiology, Zurich, July 1934 British Journal of Radiology, 7 : 695-699

[3] . **ICRP (1951)** International Recommendations on Radiological Protection ; Revised by the International Commission on Radiological Protection at the Sixth International Congress of Radiology . London, July 1950 British Journal of Radiology, 24 : 46-53

[4] . **CURTIS H.J.** The Biological Effects of Radiations . Annual Review of Physiology, 1951, 13 : 41-56

[5] . **ELLIS F.** The Genetic Effects of Non-Sterilising Doses of Penetrating Radiation . British Journal of Radiology, 1948, 11 : 1-3

[6] . **GREEN P.A.** The International Commission on Radiological Protection . Greenpeace : London 1985

[7] . **ICRP (1955)** Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ; Revised December 1, 1954 , British Journal of Radiology, Supplement N°6

[8] . **NAS-BEAR (1956)** "The Biological Effects of Atomic Radiations : A Report to the Public from a Study NAS-NRC ; Washington DC " and "The Biological Effects of Atomic Radiations : Summary Reports from a study NAS-NRC, Washington DC"

[9] . **ICRP (1958)** Report on 1956 Amendments to the Recommendations of the International Commission on Radiological Protection . Radiology, 70 : 261-262

[10] . **ICRP (1959)** Recommendations of the International Commission on Radiological Protection . ICRP Publication 1, Health Physics, 2 : 1-20

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

Alice M. Stewart

Ce texte a été présenté au colloque "Energie et Société" qui s'est tenu à Paris du 16 au 18 septembre à la maison de l'Unesco. (Colloque organisé par le groupe de bellerive, Genève, Suisse)

RESUME

L'étude de "Hanford" est devenue une source d'évaluation des risques qui peut être adaptée aux situations 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.

La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) émet des recommandations sur les niveaux de tolérance des doses de rayonnement, et, secondairement, donne une évaluation des risques courus par les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants et des degrés de sensibilité des tissus [1,2]. Les estimations et les calculs ont pour base initiale, d'une part, des expériences faites en laboratoire sur des animaux et, d'autre part, des études portant sur des êtres humains, dont certaines ont été poursuivies, d'une manière durable, sur des personnes qui se trouvaient à Hiroshima et à Nagasaki, au moment où ces villes ont été bombardées, et qui étaient encore vivantes en octobre 1950. Il s'agit de données désignées par le sigle ABCC parce qu'elles proviennent d'une vaste étude de durée de vie dont l'Atomic Bomb Casualty Commission fut l'initiatrice et qui fut poursuivie sous les auspices de la Fondation RERF. Cette étude a porté sur 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 sont parvenus, d'une manière répétée, aux conclusions suivantes [3]

1) Le seul effet "différé" du rayonnement de la bombe atomique observé chez l'être humain a été le cancer ;

2) L'effet principal, et le premier qui se soit manifesté chez les survivants, au bout de 5 ans, a été la leucémie myéloï de ;

3) Depuis le recensement de 1950, plus de 99 % des décès ont été dus à des causes naturelles (Tableau 1).

Ces conclusions sont en assez bon accord avec celles qui sont fondées sur des expériences animales et sur l'observation de patients en radiothérapie [4]. 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 doses faibles (hypothèse de seuil), la CIPR et d'autres organismes responsables d'évaluations ont toujours établi une corrélation entre les risques courus par les travailleurs exposés aux radiations et par la population en général, et les risques déterminés par les études de mortalité des survivants de la bombe atomique [1, 4, 5]

TABLEAU 1 - Données ABCC - 8ème Rapport de mortalité*				
POPULATION	Tous les survivants, 5 ans après l'explosion, c'est à dire 285 000 presonnes, ayant reçu en moyenne une dose de 16.6 rads			
OBSERVATION EFFECTIVE	Décès pendant la période 1950-74 : 79 786 personnes atteintes des doses T65			
METHODOLOGIE	Analyse des risques relatifs prise en compte du sexe, de l'âge auquel l'exposition a été subie et de la ville			
CONCLUSIONS	A part le cancer, pas d'autre effet du rayonnement ionisant			
ESTIMATION DES RISQUES	Décès pendant la période 1950-74	Nombre	%	Décès excédentaires
	Radioinduction :			
	Leucémie	192	0.3	415
	Tumeurs solides	213	0.3	
	Causes naturelles	70 000	99.4	0

* cf. Référence [3]

Jusqu'à une époque toute récente, la seule raison de mettre en doute la validité générale des évaluations ABCC résidait dans les conclusions négatives relatives aux expositions in utero [6] qui contrastaient étrangement avec les conclusions positives concernant l'irradiation foetale dans d'autres populations [7]. Aujourd'hui, les raisons de douter sont confirmées par les conclusions d'une étude effectuée (cf. tableau 2) sur des travailleurs de l'industrie nucléaire [8]. Cette étude est une source d'estimations des risques qui concorde étroitement avec les conclusions générales relatives à l'irradiation foetale et donnent, par conséquent, un risque supérieur d'un facteur 10 aux estimations ABCC (cf. Tableau 2)

TABLEAU 2 : Analyses MSK[1] des données Hanford			
Analyses MSK	Rapports publiés	Année	Base de données
I	Symposium HPS[2] (Saratoga Springs) Health Physics	1976 1977	décès 1944-72
II	Colloque de l'AIEA[3] (Vienne) Ambio	1978 1980	décès 1944-77
III	Brit. J. Industrial Med.	1981	Main d'oeuvre 1944-75 et décès 1944-77

[1] MSK : Mancuso, Stewart & Kneale
[2] HPS : Health Physics Society
[3] AIEA : Agence internationale de l'énergie atomique

La première série d'estimations de Mancuso, Stewart et Kneale (MSK) était fondée sur une dose comparative moyenne (DMC)* .
Leurs estimations procédaient donc de l'analyse d'une DMC calculée sur la base des doses d'irradiation annuelles reçues par les 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. Ainsi, les observations portent sur les décès survenus entre 1944 et 1972 dans les effectifs de la même main d'oeuvre [8, 9, 10].
Cette analyse préliminaire conduit aux conclusions suivantes :
1) il existe un effet de radioinduction du cancer dans trois sièges : la moelle osseuse, le pancréas, le poumon (les constatations sont

* également appelée "dose individuelle moyenne

analogues mais moins définitives en ce qui concerne le cancer du sein);
2) on observe une relativement faible sensibilité des tissus à la radioinduction du cancer chez les sujets jeunes ;
3) et il est prouvé que de longs délais peuvent s'écouler 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" ou "dose doublante" 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 moelle osseuse (Tableau 3)

TABLEAU 3 : Premières estimations MSK des risques de cancer[1]

Siège du cancer	MSK I[2] Cas	MSK I[2] Dose de doublement[3]	MSK II Cas	MSK II Dose de doublement	MSK II Limite de confiance 95 %	
Moelle osseuse	11	0.8	25	3.6	**1.7** -	**10.3**
Moelle et ganglions lymphatiques	64	2.5	-	-	-	-
Pancréas	49	7.4	-	-	-	-
Pancréas, estomac et gros intestin	-	-	165	15.6	**7.3**	**55.0**
Poumon	192	6.1	215	13.7	**7.3**	**28.7**
Groupe "A"	-	-	456	13.9	**8.4**	**21.2**
Tous les sièges	670	12.2	743	33.7	**15.2**	**79.2**

[1] cf. Références [10] et [11]
[2] Il s'agit de surestimation 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.

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. D'autre part, une analyse comportant une référence à des titrages biologiques (c'est-à-dire à des tests de détection de dépôts internes de substances radioactives par contamination interne) a révélé -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 cité, dans Health Physics, il a été découvert que parmi les travailleurs qui n'avaient pas été irradiés (ou plutôt qui avaient été notés avec des doses d'irradiation nulles) se trouvaient des personnes qui, en réalité, n'avaient jamais subi 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 que les conclusions avaient été accueillies très défavorablement, 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 parmi les effectifs de la main d'oeuvre 1944-75. 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) [11,12] . 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'avèra que la plupart des critiques dont il vient d'être question étaient mal fondées. Des articles ultérieurs ont d'ailleurs montré qu'il serait aisé de résoudre le petit nombre de problèmes encore en suspens en combinant la classification (anatomique) usuelle des cancers avec les évaluations du degré de sensibilité des tissus établies par la CIPR (Tableau 4).

TABLEAU 4 : SPECIFICATION DES CANCERS A ET B

Groupe	Tissus *	N° CIM** (8ème révision)	Sexe masc.	Sexe fém.
Cancers A (Tissus sensibles)	Pharynx	145 - 149	10	-
	Digestif	150 - 159	201	19
	Respiratoire	160 - 163	215	10
	Sein (Femme)	174	-	19
	Thyroïde	193	1	-
	Hémopoïétique	200 - 209	76	10
Cancers B		N° restants		
(autres tissus)	Autres sièges	140 - 209	199	28
	Autres non spécifiés	195 - 199	41	3

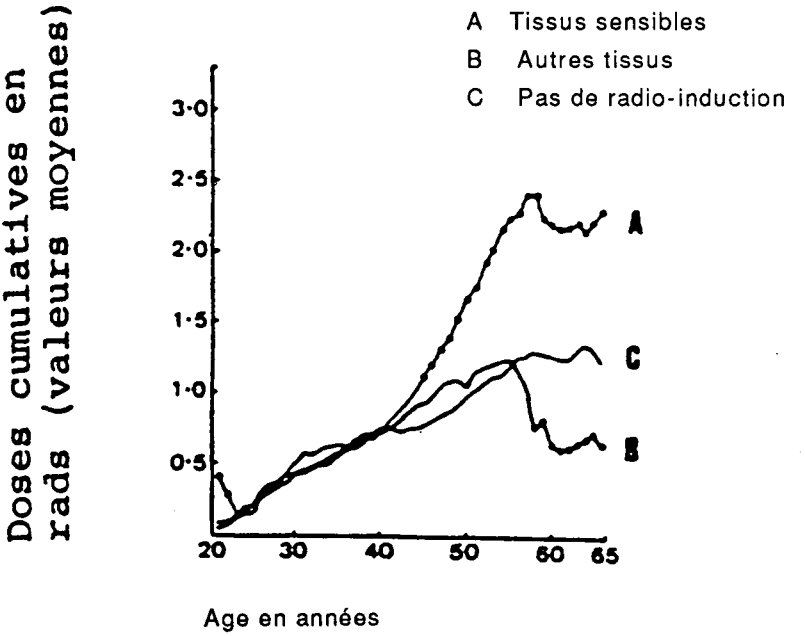
* Références [2] et [22]

** Classification internationale des maladies

Ce regroupement des décès dus au cancer a une portée directe sur le problème des risques de cancer radioinduit ; il a permis de travailler exclusivement sur deux groupes de diagnostics, à savoir, les cancers de tissus qui étaient connus comme sensibles au rayonnement ionisant ou soupçonnés de l'être (Groupe A) et les cancers d'autres tissus ou sièges non spécifiés (Groupe B). Ce regroupement en deux catégories a notamment permis de découvrir que le nombre de cas de cancer signalés était inférieur à la réalité dans les catégories d'âge plus élevé et que, du fait de cette erreur systématique, l'analyse donnait un nombre plus important de cancers du groupe B que de cancers du groupe A. (Figure 1)

FIGURE 1

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



Différences significatives entre doses avec radio-induction et sans radio-induction de cancer

Bien que les conclusions préliminaires aient été confirmées, elles ont continué à avoir mauvaise presse [13] De ce fait, il était difficile de se rendre compte que les objections soulevées par les spécialistes scientifiques qui avaient libre accès aux "données Hanford" se référaient à des conclusions et non à des observations [14, 15, 16]. Toutefois la conclusion préférée -selon laquelle une corrélation non identifiée de dose de rayonnement (et non pas d'irradiation) serait à l'origine de toutes les conclusions relatives à l'induction du cancer- peut maintenant subir avec succès la comparaison critique avec une analyse de cohorte des 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 :

1) les conséquences qui peuvent résulter du fait de ne pas prendre en considération l'effet du "travailleur en bonne santé", et

2) comment se comparent deux modes indépendants de mesure de cet effet.

Lorsqu'on ne tenait pas compte de l'effet du "travailleur en bonne santé", tous les non-survivants avaient des doses très 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 des degrés de "bonne santé"- pour chacune des occupations professionnelles, on obtenait :

1) une quasi-égalité entre les décès de survivants et les décès dus à d'autres causes que le cancer ;

2) des doses inférieures à la moyenne pour les cancers du groupe B ;

3) des doses supérieures à la moyenne pour les cancers du groupe A.

Les conclusions négatives pour les cancers du groupe B résultaient clairement d'une erreur systématique 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 différences réelles.

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

1) La caractéristique dose-effet est une fonction supra-linéaire dont la 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 conduit à une sous-estimation des effets cancérigènes des doses faibles.

2) Chez les adultes, on constate une augmentation progressive de la sensibilité aux effets du cancer sous de faibles niveaux d'irradiation, en fonction du vieillissement. Il en résulte qu'il faudrait ajouter théoriquement 8 années pour avoir un doublement du risque de cancer à l'âge "original". En d'autres termes, la forme de la courbe est analogue à la forme de la courbe de mortalité générale.

3) De courts intervalles de temps entre l'induction du cancer et la mort sont possibles mais pas probables. Le risque maximum de décès se situe probablement 25 ans après l'induction mais cette estimation est fondée sur des données selon lesquelles le délai le plus long possible serait de 32 ans.

4) Pour les cancers de tissus sensibles, qui contribuent pour les trois quarts de l'ensemble des décès dus au cancer, la dose de doublement décroît progressivement avec l'âge et se situe autour de 15 rads pour un homme-type de 40 ans.

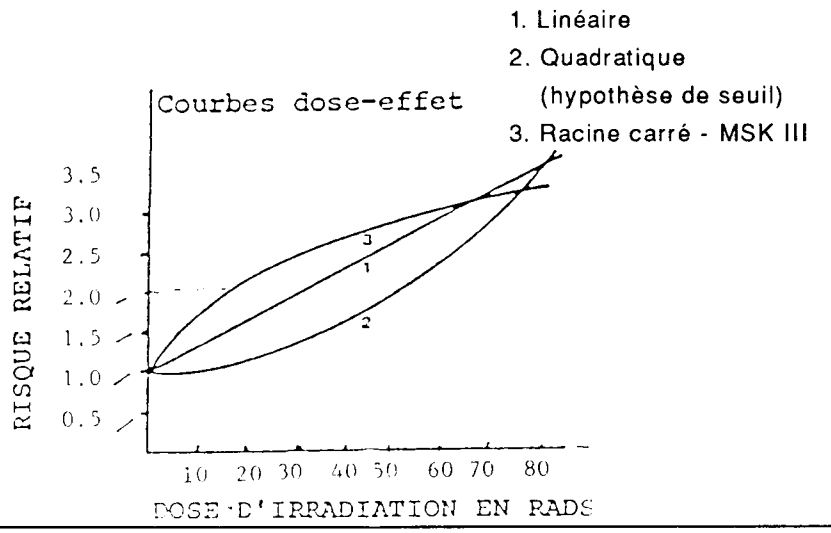
La CIPR n'a pas encore eu le temps de réagir à ces conclusions mais -comme on le verra plus loin- des pressions commencent à s'exercer pour qu'on continue à se fier aux évaluations de risques ABCC*. La publication CIRP 26 [1] donne des facteurs de risques pour divers types de cancer, dont un facteur pour le cancer du sein indiquant 25 comme nombre théorique de cancers par radioinduction externe, au cas où un million de femmes seraient exposées à un rayonnement ionisant de 1 rem. Cette évaluation théorique 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 sur des produits luminescents au radium pendant la deuxième guerre mondiale

N d T : ce texte date de 1981, c'est-à-dire avant la révision de la dosimétrie.

TABLEAU 5 : SERIE MSK III
de résultats d'essai de modèle après confirmation
d'un effet d'irradiation pour les cancers du groupe A

Effets de l'irradiation	Evaluation de probabilité maximale
Dose-effet (E)	Non linéaire, avec E = 0,5 effet = $[\text{Dose}]^{1/2}$
Dose de doublement (D)	D = 15 rads (95% : limites 2 - 150)
Latence (L)	délai entre l'induction du cancer et la mort : L = 25 ans
Age au moment de l'irradiation (S)	L'addition d'âge qui augmente la sensibilité de e (base des logarithmes naturels) S = 8 ans

FIGURE. 2 : courbes typiques dose-effet du risque relatif en fonction de la dose cumulée pour différents paramètres



ont permis d'identifier 16 décès par cancer du sein alors que, sur la base de la statistique nationale, le nombre théorique était 10.3 [18].
Pour toutes les causes de décès, le nombre observé (89) était inférieur au nombre prévu (112,0). En conséquence, il a bien fallu conclure qu'en dépit de l'existence d'un effet du "travailleur en bonne santé", on se

trouvait en présence d'un dépassement caractéristique de décès par cancer du sein et que le risque relatif était : 16 : 10.3 = 1.55.

La dose moyenne reçue par les 1.110 ouvrières maniant des matières luminescentes a été de 38.5 rems. Toutefois, si un million de femmes avaient été exposées à une dose de 1 rem, le nombre de décès supplémentaires aurait été

$$\frac{(16 - 10,3)\ 10^{6}}{1.110 \times 36,5} = 1110 \times 36,5$$

chiffre de 5 à 6 fois supérieur à l'estimation du risque absolu par la CIPR. L'équivalence avec les estimations MSK III du risque relatif ne peut être obtenue aussi aisément (voir le Tableau 5) mais on peut y parvenir en partant de l'existence d'une femme type née en 1915 et ayant travaillé avec du 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 dose-effet typique curviligne supra-linéaire et la comparaison avec d'autres cancers de tissus "radio-sensibles", le risque relatif serait de 1,74. Ce qui est voisin de l'estimation initiale (1,55).

Tableau 6 : Application des estimations de risque MSK III à une ouvrière-type travaillant dans l'industrie de la luminescence au radium [1]

Année[2]	Age	Dose en rad réelle	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

Cette histoire a un aspect paradoxal : les auteurs de l'étude pensaient évidemment que leurs conclusions allaient dans le sens des recommandations de la CIPR et, par conséquent, qu'elles venaient à l'appui de l'idée que toutes les évaluations MSK exagéraient grossièrement les risques de cancer induit par les irradiations à faible niveau. 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 [19] (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 [1]	Cas de cancer [2] radio-induit
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

Selon l'étude MSK III, le rayonnement ionisant ambiant exerce une influence sur la mortalité due au cancer et les décès imputables à cette source 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 (pour 10^5) passe de 753

Tableau 8 : Mortalité due au cancer et rayonnement ambiant en 329 lieux du Japon [1]		
Sexe	Rayonnemnt ambiant	Mortalité due au cancer[2]
	en millirems	taux par 10^5
masculin	moins de 60	753
	60 - 79	839
	80 - 99	840
	100 +	868
féminin	moins de 60	464
	60 - 79	541
	80 - 99	554
	100 +	567

[1] Cf. Référence [19]

[2] Décès survenus à un âge supérieur à 40 ans pendant la période 1969/70

pour le plus bas des quatre niveaux de dose d'irradiation (moins de 0.06 rem par année) à 868 pour le niveau le plus élevé (supérieur à 0.10 rem par année) ; pour les femmes, les chiffres correspondants étaient respectivement 464 et 567. 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'indices fiables des risque que le rayonnement ionisants font courir aux populations qui n'ont pas été exposées aux effets de radiations de forte intensité [20].

COMMENTAIRES

L'hypothèse selon laquelle l'extrapolation des résultats d'observations faites sur de hautes doses exagère les risques de cancer pour de faibles doses (hypothèse de seuil) est fondée sur le fait connu

TABLEAU 9 : Données ABCC - avec correction tenant compte de l'effet du "survivant en bonne santé"					
CONDITION DE BASE	Cause de décès non affecté par l'effet duu "survivant en mauvaise santé", compatible avec les normes des statistiques nationales				
CHOIX PROVISOIRE	Accidents cérébro-vasculaires				
FACTEUR DE CORRECTION	Rapport O : E pour les survivants de Hiroshima = 0,70				
EVALUATION DES RISQUES	décès pendant la période 1950-72, sur 82.244 survivants *				
Décès	Observation	Prévision initiale	Prévision corrigée	"Excédent"	
Néoplasmes	3.744	(3.283)	2.298	1.446	4.399
Autres causes	14.782	(16.899)	11.829	2.953	

* Cf. Référence [23]

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 en augmentant la viabilité des cellules endommagées. Cette supposition est confirmée par la forme de la courbe dose-effet pour les irradiations observées à Hanford [17] et également par les données relatives aux ouvrières travaillant dans l'industrie de produits luminescents au radium [18], ainsi que différents niveaux de rayonnement ambiant observés au Japon [19].

Une fonction dose-effet qui obéit à une loi en racine carrée revêt une grande importance aussi bien pour le stockage 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 effet tenir compte de cette loi lors du stockage des substances radioactives parce qu'en

raison même de l'amplitude de l'effet, il importe de traiter les sources de radioactivité "diluées" avec les même 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 possibles 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 catégories de gens exposés aux rayonnements ionisants à des examens suivis, analogues à ceux auxquels ont été soumis les survivants de la bombe atomique. 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 explosions de la bombe atomique.

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 néo-natale pour la population locale de TMI étaient supérieurs aux taux correspondants pour la Pensylvanie (Tableau 10) et, depuis lors, nous avons appris qu'il existait une différence analogue en ce qui concerne l'hypothyroïdisme chez les nouveau-nés [21]. Il convient de reconnaître 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. Après avoir identifié la population qui était alors sujette à des risques, on pourrait procéder à 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 première génération, atteints d'infirmités congénitales (en se référant aux demandes d'indemnités pour cause d'incapacité, présentées par les ayants-droit au titre de personnes à charge).

TABLEAU 10 : Mortalité néo-natale (taux trimestriels)

Année	Trimestre	Pensylvanie	Three Mile Island (TMI) dans un rayon de 10 miles, environ 10 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 Three Mile Iland (TMI)
(28 mars - 6 avril 1979)
Contrôles statistiques d'homogénéï té : Pensylvanie - oui
TMI - non
Hétérogénéï té de la région TMI : 1/ pas due à des facteurs saisonniers
2/ principales contributions : 3ème trimestere de 1978 (diminution)
1er et 2ème trimestre de 1979 (augmentation)

REFERENCES

[1] . **ICRP - 26** Radiation Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection

[2] . **ICRP - 14** Radiosensitivity and Spatial Distribution of Dose . 1969, Pergamon Press

[3] . **BEEBE G.W., KATO H. & LAND C.E.** Mortality experience of atomic bomb survivors 1950-74 . Life Span Study Report 8 . 1977, Washington D.C. : U.S. National Academy of Science, RERF TR 1-77

[4] . **Report of the Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation** The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation . 1972

[5] . **UNSCEAR** Radiation Effects on Prenatal Development . in "Sources and Effects of Ionizing Radiation" . 1977

[6] . **JABLON S. & KATO H.** Childhood Cancer in relation to prenatal exposure to A-bomb radiation . Lancet, ii, 1000-1003 . 1970

[7] . **STEWART A. & KNEALE G.W.** Radiation dose effects in relation to obstetric X-rays and Childhood Cancers, Lancet, 1970, i, 1185

[8] . **MANCUSO T.F., SANDERS B. & BRODSKY A.** Proc. 6th Ann. Health Physics Soc. Topical Symposium, Vol. III, Study of the Lifetime Health and Mortality Experience of Employees of AEC Contractors . 1971

[9] . **MANCUSO T.F., STEWART A.M. & KNEALE G.W.** Radiation Exposures of Hanford Workers dying from various causes . 10th Midyear Topical Symposium of the Health Physics Society, Proc. of papers presented at Saratoga Springs, 204-230, Rensselaer Polytechnic Inst. Troy, NY. 12181 . 1976

[10] . **MANCUSO T.F., STEWART A.M. & KNEALE G.W.** Hanford I : Radiation Exposures of Hanford Workers dying from Cancer and Other Causes, Health Physics, 1977, 33 : 369-384

[11] . **KNEALE G.W., MANCUSO T.F. & STEWART A.M.** 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", 1978, 1 : 387-410, IAEA

[12] . **STEWART A.M., KNEALE G.W. & MANCUSO T.F.** Hanford IIB : The Hanford Data - A Reply to Recent Criticisms,

Ambio, 1980, 9 : 66-73

[13] . **REISSLAND J.A.** An Assessment of the Mancuso Study, NRPB - R 79 . National Radiological Protection Board, Harwell, Didcot, Oxon, OX11 ORQ., England . 1978

[14] . **MARKS S. & GILBERT E.S.** Cancer Mortality in Hanford Workers . in "Late Biological Effects of Ionizing Radiation", 1978, 1 : 369-384, IAEA

[15] . **HUTCHINSON G.B., MACMAHON B., JABLON S. & LAND C.E.** Review of Report by Mancuso Stewart & Kneale of Radiation Exposure of Hanford Workers, Health Physics, 1979, 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. & STEWART A.M.** 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.. in press 1981 [38, 156-166]

[18] . **BAVERSTOCK K.F., PAPWORTH D. & BENNART J.** Risks of Radiation at Low Dose Rates, Lancet 21st Feb. 1981 : 430-433

[19] . **UJENO Y.** Carcinogenic Hazard from Natural Background Radiation in Japan, J. Rad. Res., 1978, 19 : 205-212

[20] . **STEWART A.M.** 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 . in press

[21] . **BERTELL R.** Understanding the Three Mile Island accident . Unpublished

[22] . **MOLE R.H.** The Sensitivity of the Human Breast to Cancer Induction by Ionizing Radiation . Brit. J. Radiology, 1978, 51 : 401-405

[23] . **MORIYAMA I.M. & KATO H.** Mortality Experience of A-bomb Survivors1970-72, 1950-72 . ABCC Life Span Study Report 7. RERF TR 15-73

Evaluation du rique dû à l'exposition aux rayonnements ionisants.

Un autre point de vue

Karl Z. Morgan

Ecole d'engineering nucléaire
Georgia Institute of Technologie
Atlanta, Georgia 30332

Texte présenté par KARL Z. MORGAN
à l'AMERICAN NUCLEAR SOCIETY -
8 Juin 1981

A l'origine et jusqu'en 1950 environ, pour l'essentiel, la communauté scientifique dans son ensemble souscrivait à l'hypothèse du seuil : il y a un niveau d'irradiation sans danger en-dessous duquel les individus exposés ne subiront aucun dommage. Pendant cette période, la préoccupation principale était d'avoir une bonne protection contre les fortes irradiations professionnelles pour lesquelles il aurait pu se produire des effets précoces du rayonnement tels que des érythèmes, des changements de formule sanguine, ou des altérations générales de la santé exigeant de longues absences pour les travailleurs sous rayonnement. Ceci fut l'hypothèse et la pratique dans plusieurs pays européens. Pendant cette période, on accorda peu d'attention aux niveaux d'irradiation maximums permis pour les membres du public mais les résultats des études de Muller [1] sur les mouches des fruits suggéraient que ces niveaux maximums permis devraient être à la base de la protection vis-à-vis d'un excès de mutations génétiques radioinduites. Durant les trois dernières décennies, d'importants programmes de recherche se sont poursuivis dans de nombreux pays du monde sur l'induction de tumeurs cancéreuses par des irradiations à des niveaux faibles ou intermédiaires chez les animaux et les humains. Comme la durée du suivi de ces études s'est accrue, les tumeurs malignes (en particulier celles qui chez l'homme ont de longues périodes de latence) ont montré une incidence surprenante, même pour de faibles niveaux d'irradiation. En conséquence, les niveaux maximums permis ont décru d'une façon discontinue de temps à autre. Par exemple, le niveau maximum permis professionnellement pour les travailleurs a chuté approximativement d'un facteur 10 depuis 1950, et celui pour les membres du public a décru d'un facteur 60 (de 1,5 rem par an au niveau actuellement fixé par l'EPA (Environnement Protection Agency) à savoir 25 millirem par an). Cette préoccupation croissante vis-à-vis de l'irradiation aux faibles doses de rayonnement ionisant est illustrée par cet énoncé de la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique) en 1971 [2] : *"On pourrait conclure que le rapport des effets somatiques aux effets génétiques suite à une irradiation donnée, est 60 fois plus grand que ce que l'on pensait il y a 15 ans"*.

Forcément, au début, la plupart des études sur les effets des

faibles doses furent menées sur des souris, des rats ou d'autres animaux plutôt que sur l'homme. Ces études sur des animaux, dans bien des cas, sous-estimèrent les risques de cancer chez l'homme, à cause de la plus grande radiosensibilité de celui-ci et parce que de nombreux types de cancer ont des périodes d'incubation de 10, 20 ou 50 ans c'est-à-dire plus longues que le temps de vie de la plupart des animaux qui servent aux expériences ; l'incidence des cancers dépend plus du temps écoulé depuis l'irradiation que de la fraction de la durée de vie qui s'est écoulée depuis l'irradiation. Récemment, il a été possible de mener un certain nombre d'études épidémiologiques sur des humains exposés à des doses faibles de rayonnement (étude d'Oxford de Stewart et Kneale [3] sur l'irradiation in utéro par rayons X, études de Modan et al. [4] sur des personnes dont le cuir chevelu fut irradié aux rayons X à la suite de teigne, études sur les travailleurs de l'usine nucléaire de Hanford par Mancuso, Stewart et Kneale [5], etc ...). Ces études ont mis en évidence un risque cancérigène 10 fois à 50 fois plus élevé que celui suggéré par beaucoup des études effectuées sur des animaux ou celui indiqué par l'étude sur les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki ou celle effectuée sur les malades traités par radiothérapies, en particulier sur les malades atteints de spondylarthrite ankylosante. Malheureusement, les autorités qui fixent les normes ont pour la plupart accepté ces deux études faites sur l'homme (les survivants japonais et les malades atteints de spondylarthrite) comme s'il s'agissait de paroles d'évangile et elles n'ont pas essayé d'examiner les biais sérieux que ces études comportaient et qui conduisaient à sous-estimer grossièrement le risque du rayonnement. Les biais les plus significatifs, pour l'étude sur les survivants japonais, étaient le feu, l'explosion et la situation traumatique auxquels ont été confrontés les survivants japonais d'une situation catastrophique. Les fortes doses qu'ils reçurent pouvaient conduire à une mort prématurée par des maladies ordinaires longtemps avant qu'aient pu se développer des tumeurs malignes. Ceci est particulièrement vrai pour les individus les plus faibles, c'est-à-dire ceux qui sont les plus aptes à développer des cancers. Un biais similaire existait dans le cas des malades atteints de spondylarthrite ankylosante. Il s'agissait là d'individus malades souffrant d'une maladie

douloureuse et grave qui, comme l'ont montré les études de Radford et al. [6], mouraient prématurément de maladies ordinaires, telles que pneumonie, bronchite chronique, grippe, ulcère de l'estomac, maladies gastro-intestinales, tuberculose, affection cérébro-vasculaire, etc... Pendant la période normale de latence de la plupart des cancers. Kneale et Stewart [7-8] ont montré que les individus chez qui un cancer a été initié (c'est-à-dire dans les premières phases de son développement) ont une forte prédisposition à mourir, ou sont en grave danger de mourir, d'infections secondaires et d'accidents avant que les tumeurs puissent être diagnostiquées cliniquement. On montre que ceci résulte du fait que l'état de précancer est associé à un amoindrissement de la résistance immunologique. Dans le cas des survivants d'Hiroshima et de Nagasaki et des malades souffrant d'une maladie mortelle comme la spondylarthrite, les agressions du feu, des explosions, des privations et des irradiations ainsi que des maladies, affaiblissent encore plus le système endothélio-réticulaire des candidats probables à des tumeurs malignes radioinduites, de sorte qu'ils ne peuvent plus combattre avec succès les ravages causés par des maladies ordinaires. Dans le cas des japonais, beaucoup, parmi ceux qui évitèrent ces maladies ou y survécurent, succombèrent au cancer, les leucémies atteignant un pic d'incidence dans les 6 à 11 ans après l'irradiation. Plus tard, et même encore maintenant, tous les autres types de tumeurs malignes ayant des périodes plus longues, ont augmenté. Cet accroissement des cancers est fonction de l'importance de l'irradiation.

On peut se demander comment il se fait que les autorités qui fixent les normes d'irradiation (CIPR, NCPR, UNSCEAR, Comité BEIR*, etc ...) aient été aussi insouciantes dans leur empressement à accepter les résultats issus des études sur les survivants japonais et sur les

* CIPR : Comité International de Protection Radiologique.

NCPR : National Commission on Radiation Protection, commission nationale pour la protection radiologique, c'est le principal organisme officiel américain pour la radioprotection.

UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations, Comité Scientifique des Nations Unies sur les effets des radiations atomiques.

Comité BEIR : comité spécialisé de l'Académie des Sciences américaine pour l'étude des effets biologiques des rayonnements.

malades atteints de spondylarthrite comme références incontestables, à l'exclusion de tout autre résultat, et à les utiliser sans essayer de les corriger pour tenir compte des biais sérieux mentionnés plus haut. Je ne peux pas, bien sûr, répondre à cette question. Une interprétation possible serait que, consciemment ou non, beaucoup de membres de ces organismes officiels voulaient trouver que le risque des faibles doses de rayonnement était très petit, voire complètement négligeable. Quant à moi, j'aimerais présenter une explication plus charitable. Avant qu'on ait signalé les corrections qu'il fallait apporter aux résultats observés sur les survivants japonais et les malades atteints de spondylarthrite, il y avait un bon accord avec les données obtenues sur les animaux à courte vie sur lesquels de nombreuses observations avaient été faites. Ils n'essayèrent donc pas de résoudre la question extrêmement difficile de savoir comment il serait raisonnablement possible de corriger les biais de ces études.

Nous conclurons cet article en signalant que, bien que les organismes officiels chargés d'établir les normes aient écarté l'hypothèse d'un seuil au profit d'un modèle linéaire, nombreux furent leurs membres qui exprimèrent l'opinion que l'hypothèse linéaire exagérait très fortement les risques des faibles doses de rayonnement. Ceci est peut-être vrai pour certains types d'irradiation, mais il y a de très fortes preuves que dans beaucoup de cas, sinon dans tous, d'irradiation humaine à des doses faibles, l'hypothèse linéaire semble sous-estimer le risque du rayonnement. Le modèle supralinéaire* est celui qui représente le mieux les données.

En simplifiant, le risque de cancer aux faibles doses d'irradiation peut être représenté par la relation $P(d) = a+bd^k$ où $P(d)$ est la probabilité de mourir d'un cancer à la suite d'une irradiation par une dose d(mesurée en rem) et a, b, k sont des constantes. Si $k = 1$ nous avons l'hypothèse linéaire, si $k > 1$ nous avons l'hypothèse d'un seuil et si $k < 1$ nous avons l'hypothèse supralinéaire. Baum [9] a été l'un des premiers parmi de nombreux chercheurs à montrer que $k < 1$

Note du traducteur

* Le modèle supralinéaire est représenté par une courbe dont la concavité est tournée vers le bas. Dans ce modèle l'effet par unité de dose est plus fort aux faibles doses qu'aux doses élevées.

représentait le mieux les résultats concernant un certain nombre de cancers chez les survivants japonais (k = 0,5 pour tous les cancers à Hiroshima, k = 0,8 pour les leucémies aiguës à Nagasaki, k = 0,86 pour les leucémies à Hiroshima, et pour les deux villes prises globalement, k = 0,19 pour les cancers du poumon, k = 0,35 pour les cancers de l'estomac et k = 0,5 pour les cancers du sein chez les femmes). Une série d'articles [10-12] suggère fortement que l'induction du cancer de la thyroïde aux faibles doses d'irradiation est plus grave que ce que l'on croyait il y a dix ans et que k < 1 est la meilleure représentation.

Dans son analyse des données concernant les spondylarthrites ankylosantes, le GAO [13] concluait : *"Tous les modèles mixtes qui ont été testés sont bien plus valables que le modèle linéaire et le modèle inhabituel représenté par un terme en racine carrée et par un terme cubique, est le meilleur de tous"*. Comme pour des doses inférieures à 100 rem, la contribution du terme cubique au risque cancérigène P (d) est bien inférieure à 1 %, cela signifie qu'aux faibles doses k = 0,5 (où P (d) proportionnel à $\sqrt{d}$) est la meilleure représentation. Le GAO [13] concluait que, pour les survivants japonais, *"les courbes de réponse (effets/dose) en racine carrée, linéaire, quadratique ou cubique donnent toutes de bonnes approximations aux faibles doses au moins pour une série de données" et que "les groupes fortement sensibles aux faibles doses pourraient conduire à des courbes de réponse (effets/dose) pour la population dans son ensemble qui donnent des effets plus forts par unité de dose (rad) aux faibles doses qu'aux doses plus élevées"*, il s'agit là d'une représentation supralinéaire. Ils continuaient en signalant que *"la forme des courbes de réponse (effets/dose) ne serait pas affectée par la réponse de sous-groupes modérément radiosensibles ou même fortement résistants au rayonnement"*. Le Comité BEIR de 1980 [14] affirma : *"l'existence de sous-groupes de dimension convenable, extrêmement sensibles produirait une courbe de réponse (effets/dose) présentant un plus grand effet par rad aux doses très faibles qu'aux doses élevées"*. Je crois qu'il y a des preuves de l'existence de tels groupes dans une population humaine hétérogène alors que de tels groupes ne peuvent apparaître dans les ensembles homogènes d'animaux que l'on étudie pour établir les relations effets/dose. Les résultats de telles études sur animaux peuvent mener à des hypothèses erronées en ce qui concerne les populations humaines.

REFERENCES

[1] . **MULLER H.J.** Radiation and Heredity . Amer. J. Public Health, 1964, Sup. to Vol. 51, 1

[2] . **ICRP (1971)** . International Commission on Radiological Protection . Working Paper, ICRP/71/L : C-4

[3] . **STEWART A.M. & KNEALE G.W.** Radiation Dose Effects in Relation to Obstetric X-Rays and Childhood Cancers . Lancet, 1970, 1186

[4] . **MODAN B., BAIDATZ D., MART H., STEINITZ R. & LEVIN S.G.** Radiation-Induced Head and Neck Tumors . Lancet, Feb. 23, 1974, 277

[5] . **MANCUSO T.F., STEWART A.M. & KNEALE G.W.** Radiation Exposure of Hanford Workers Dying of Cancer and Other Causes . Health Physics, 1977, 33, N°5, 369

[6] . **RADFORD E.P.; DOLL R. & SMITH P.G.** Mortality Among Patiens with Ankylosing Spondylitis Not Given X-Ray Therapy . New Eng. J. of Med. 296, N°11, Sept. 15, 1977, 572

[7] . **KNEALE G.W., STEWART A.M. & MANCUSO T.F.** Reanalysis of Data Relating to the Hanford Study of the Cancer Risk of Radiation Workers . International Atomic Energy Agency Conference, Vienna, Austria, March 13-17, 1978

[8] **KNEALE G.W. & STEWART A.M.** Precancers and Liability to Other Diseases . Br. J. Cancer, 37, 448-457, 1978

[9] . **BAUM J.W.** Population Heterogeneity Hypothesis on Radiation-Induced Cancer . Health Physics, 1973, 25, 97

[10] . **PARKER L.N., BELSKY J.L., YAMAMOTO T. KAWAMOTO S. & KEEHN R.J.** Thyroid Carcinoma Diagnosed Between 13 and 26 Years After Exposure to Atomic Radiation . ABCC-Tech. 1973, Report 5-73

[11] . **SILVERMAN C. & HOFFMAN D.A.** Thyroid Tumor Risk from Radiation During Childhood . Preventive Medicine, 1975, 4, 100

[12] . **SCHMITZ-FEUERHAKE, MUSCHOL E., BATJER K. & SCHAFER R.** Risk Estimation of Radiation-Induced Thyroid Cancer in Adults . IAEA-SM-224/712, 1978

[13] **GAO Report to the Congress of the U.S.** Problems in Assessing the Cancer Risks of Low-Level Ionizing Radiation Exposure . Jan. 2, 1981, Vol 2

[14] . **BEIR - 80** The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation . Report of Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation . NAS/NRC, Washington, D.C., 1980

Effets cancérigènes du rayonnement ambiant.

Les recommandations de la CIPR sont-elles fiables?

Alice M. Stewart

Conférence à la Sorbonne
GSIEN - ECOROPA 25 Mai 1987

La Commision Internationale de Protection Radiologique (CIPR) soutient que la meilleure méthode pour estimer le risque cancérigène des faibles doses de rayonnement ionisant est d'extrapoler linéairement les résultats obtenus aux fortes doses [1]. La réparation des chromosomes brisés après irradiation est un phénomène bien connu, il est supposé réduire le risque des faibles doses, et le risque du rayonnement naturel ambiant (avec un débit de dose moyen de 0,1 rem par an) est supposé être si faible que même un accroissement d'un facteur 20 du facteur de risque n'aurait aucun effet perceptible sur la fréquence des cancers.

Cette opinion est partagée par tous les comités européens et américains qui sont chargés de fixer les normes de radioprotection. Néanmoins, il y a un certain nombre d'observations épidémiologiques qui sont compatibles avec
(a) l'extrapolation linéaire à partir des effets des fortes doses sous-estime considérablement le risque cancérigène que subissent les travailleurs sous rayonnement,
(b) un débit de dose de rayonnement naturel ambiant de 2 rem par an est plus que suffisant pour doubler la fréquence des cancers. Par conséquent, nous avons à faire à une situation complexe qui, puisqu'elle ne se prête pas à l'expérimentation animale, exige une évaluation correcte de plusieurs études épidémiologiques.

Les sources principales des recommandations de la CIPR proviennent d'une étude sur les effets à long terme des rayonnements sur les survivants des bombes A par la Fondation de Recherche sur les Effets des Radiations (RERF = Radiation Effects Research Foundation) au Japon [2] et d'une étude sur les effets à long terme des radiothérapies pratiquées sur les malades souffrant de spondylarthrite ankylosante en Angleterre [3]. L'attention a aussi été portée sur l'étude d'Oxford des cancers des enfants [4] et d'autres études relatives à la relation entre les irradiations prénatales aux rayons X et la mortalité par cancers à court terme. Mais les études sur les adultes impliqués dans des situations d'irradiation à des doses faibles, y compris l'analyse des données sur les travailleurs US de l'usine de Hanford [5-6] par

Mancuso, Stewart et Kneale (MSK), ont été systématiquement ignorées. Ce biais résulte du fait que la Commission a été avisée que ces études avaient "de nombreux points faibles" [7].

Les études japonaise et anglaise sont cependant arrivées à la même conclusion : tous les effets à long terme du rayonnement, même aux fortes doses, sont le résultat de mutations dont l'effet le plus prononcé qui se produit le plus rapidement est un accroissement de l'incidence de leucémie myéloïde.

Sous la pression des épidémiologistes qui suspectaient que les survivants d'un holocauste nucléaire pourraient ne pas être représentatifs de populations normales pour les effets à long terme du rayonnement, la RERF a finalement admis qu'il doit y avoir eu une forte sélection en faveur des personnes de constitution exceptionnellement bonne [8]. Cependant quand un suivi prolongé de la population des survivants japonais ne montra pas de preuve d'une relation entre les doses reçues et les maladies autres que le cancer, il fut finalement admis que cette sélection n'avait affecté la mortalité que pendant la période qui avait précédé le choix et l'assemblage de la population étudiée (c'est-à-dire avant octobre 1950). La même analyse arrivait à la conclusion que les cancers radioinduits ne comptaient que pour moins de 0,5 % de toutes les morts, pour une population ayant reçu une dose moyenne de 17 rads (2). Jusqu'à présent personne n'a expliqué comment une population constituée de personnes de santé exceptionnelle aurait pu perdre cet avantage en moins de cinq ans.

Bien que les études japonaise et anglaise aient conclu qu'il n'y avait aucun effet à long terme des rayonnements autre que les cancers, toutes deux aboutissent essentiellement aux mêmes résultats concernant la leucémie myéloïde et l'anémie aplasique. Ceci est expliqué en supposant qu'il est tout à fait possible de confondre la maladie maligne avec la maladie non maligne. Les conditions sont très semblables. Cependant le lien entre la leucémie myéloïde et le rayonnement est bien mieux connu que le lien entre l'anémie aplasique et le rayonnement (qui n'existe seulement qu'aux doses élevées). Aussi

dans les deux études japonaise et anglaise, tout survivant aux "fortes" doses ayant l'une ou l'autre maladie serait classé comme cas de leucémie.

Une raison supplémentaire expliquant pourquoi dans les deux études qui ont servi de modèles pour les recommandations de la CIPR, il pourrait y avoir un réel excès d'anémie aplasique, peut être trouvée dans les expériences faites sur les animaux. Celles ci ont montré qu'une guérison apparente de dégâts étendus à la moelle, est suivie éventuellement par un effondrement total des tissus régénérés [9]. Cependant, dans une situation équivalente on s'attendrait chez l'homme à ce que la mortalité éventuelle par anémie aplasique soit moins fréquente que la mortalité par infections (ou réponses défectueuses du système immunitaire).

Si la mortalité subie par les survivants japonais avait été infléchie dans une direction par les effets à long terme des dommages subis par la moelle et dans la direction opposée par des effets de sélection, on pourrrait s'attendre à ce que la courbe de réponse en fonction de la dose, pour la mortalité par infection, ait des sens de variation opposés au-dessus et au-dessous de la dose correspondant au seuil pour qu'apparaissent les dommages évidents sur les tissus. Le besoin de tester cette hypothèse n'a jusqu'à présent été ressenti que par deux épidémiologistes qui n'ont pas d'accès aux données non publiées de la RERF [10]*. Ils ont trouvé, dans le rapport sur la mortalité de 1950 à 1978, que le taux de mortalité pour toutes causes autres que le cancer était inversement corrélé aux doses de rayonnement en dessous de 100 rads et positivement corrélé pour les doses supérieures à ce niveau. Ils ont trouvé aussi qu'il était possible de renforcer le contraste en enlevant la mortalité par maladies cardiovasculaires ce qui accroît la proportion des maladies infectieuses.

Ces observations sont compatibles avec le fait qu'il y aurait plus de cancers masqués par des infections fatales aux fortes doses qu'aux

Note de l'éditeur : ces deux épidémiologistes ont eu récemment accès aux données de la RERF. l'analyse des donnes est en cours.

doses faibles, ce qui par conséquent sous-estime pour les fortes doses le risque de cancer par unité de dose. Ces conclusions auraient été en conflit avec les recommandations de la CIPR mais elles sont strictement en accord avec au moins une des études sur les faibles doses qui n'ont pas été autorisées à influencer les recommandations de la Commission, à savoir l'analyse MSK des données de Hanford.

La difficulté avec toute étude qui s'appuie sur un suivi des travailleurs pendant un temps assez long pour détecter les effets à long terme des faibles doses de rayonnement, est que dans l'industrie nucléaire la relation entre les critères généraux de santé des travailleurs et leurs revenus sont à la fois plus forts qu'en moyenne et fortement dépendants du poste de travail. Ainsi les analyses SMR (Standardised Mortality Ratio, rapports normalisés de mortalité) sont assez floues et on peut même compter sur elles pour laisser l'impression que l'exposition répétée aux faibles doses de rayonnement a des effets bénéfiques. Les comparaisons entre des travailleurs sous rayonnement ayant reçu des niveaux de dose différents peuvent, elles aussi, être fallacieuses à moins que des précautions ne soient prises pour s'assurer
(a) que la comparaison entre les divers groupes de doses est valable aussi pour les autres facteurs qui influent sur les cancers,
(b) qu'il y a un nombre assez grand de travailleurs dans chaque groupe,
(c) que la durée du suivi soit longue.

On peut trouver dans l'analyse MSK des données de Hanford, diverses façons de traiter ces difficultés ainsi que le problème du changement constant de l'âge au moment des irradiations. Il s'agit d'une étude sur des travailleurs d'une usine américaine de retraitement qui fonctionne depuis 1944. Elle commença à montrer que, parmi les 3000 premiers décès, les doses moyennes cumulées étaient plus élevées pour les morts par cancer que pour les morts par autres causes. Cette différence, pour une large part était due à des cancers dans des tissus qui, selon une évaluation existante de la CIPR, avaient des niveaux relativement élevés de radiosensibilité pour l'induction de cancers. Pour

ce groupe de cancers (qui représentait environ les trois quarts des cas), il y avait des indications que le rayonnement reçu après l'âge de 40 ans et plus de 10 ans avant la mort était plus efficace que le rayonnement reçu plus jeune ou moins de 10 ans avant la mort.

La CIPR ne fut pas impressionnée par cette analyse parce qu'elle n'expliquait pas pourquoi les travailleurs de Hanford qui étaient encore en vie avaient reçu des doses cumulées plus fortes que les travailleurs qui étaient morts. Cependant les travailleurs encore en vie et leurs doses de rayonnement figurent d'une façon prédominante dans les dernières phases de l'analyse MSK qui utilisent la méthode des modèles de régression dans les tables de mortalité, pour détecter les effets à très long terme nécessairement petits des faibles doses [6]. Entre temps on réalisa que les travailleurs de Hanford ne gardaient pas longtemps des postes de travail ayant les mêmes spécifications. Ils pouvaient même couvrir la gamme complète des trois niveaux de salaire, à savoir travail manuel, travail de bureau, travail qualifié. Ainsi les tests de contrôle pour les revenus et les conditions générales de santé, exigeaient (a) une classification des travailleurs qui combinait les trois niveaux de salaire avec quatre niveaux de contrôle pour la contamination radioactive interne et (b) une analyse statistique qui tenait compte aussi bien des "années-poste de travail" que des "personnes-années".

Quand ces tests de contrôle furent ajoutés aux autres facteurs comme l'âge et la période d'emploi, il n'y eut plus de différence significative entre les travailleurs encore en vie ou déjà morts en ce qui concerne les doses cumulées du rayonnement externe. De plus une analyse de régression de la totalité des 30 000 travailleurs montra que pour 70 % des "cancers sensibles", il y avait une preuve de l'existence d'un effet du rayonnement en dépit du fait que les doses cumulées les plus élevées n'était seulement qu'une fraction de la dose maximale admissible (5 rem par an dans l'industrie). Une fois ce point établi, il fut possible de montrer que (a) la courbe de réponse effets/dose était curviligne avec la concavité vers le bas (supra-linéaire), (b) le risque de cancer croissait progressivement avec l'âge au moment de l'irradiation et (c) les intervalles de temps entre l'induction des cancers et la mort

allaient de moins de 10 ans à plus de 30 ans [6]. Finalement quand les estimations du risque provenant de MSK et de RERF furent comparées, l'estimation de MSK s'avérait à la fois plus élevée et plus fortement dépendante de l'âge.

Bien que l'analyse MSK des données sur les travailleurs de Hanford n'ait pas été prise en compte par la CIPR pour ses recommandations, la Commission finalement reconnut qu'il y avait un danger associé à la radiologie obstetricale. Cette concession était tellement hors de la ligne des autres recommandations qu'elle nécessita une déclaration spéciale que les tissus du foetus étaient exceptionnellement radiosensibles. Ce que l'on ne nous a pas dit c'est comment la CIPR réconcilie cette déclaration avec l'affirmation qu'il n'y a pas eu d'effets in utero chez les survivants japonais.

Entre temps, la principale source d'estimation du risque présenté par les irradiations prénatales aux rayons X (étude d'Oxford) s'était orientée vers une étude sur la relation entre les cancers chez les enfants et le rayonnement ambiant [13]. Afin d'effectuer cette étude il était nécessaire de faire deux additifs à la longue série du recensement de tous les morts par cancers avant l'âge de 16 ans (tous les cas de 1953 à 1979 en Grande Bretagne). Le premier additif vint de l'Agence nationale pour la protection contre le rayonnement (NRPB = National Radiological Protection Board) et consista en la connaissance des débits de dose du rayonnement gamma naturel sur une grille nationale avec une maille de 10 km de côté. Le second additif vint des statistiques publiées qui présentaient éventuellement le nombre annuel des nés vivants dans près d'un millier de districts référencés sur la grille.

Les premières analyses de l'étude d'Oxford sur les cancers chez les enfants avaient identifié plusieurs facteurs associés au cancer. Ceux-ci incluaient les irradiations prénatales aux rayons X, la classe sociale, l'âge de la mère, la position dans la fratrie, les maladies pendant la grossesse et les infections postnatales. En incluant ces facteurs dans une analyse par régression, conjointement avec le sexe, l'âge de l'apparition du cancer, la date de naissance et les débits de

dose du rayonnement gamma terrestre, pour chaque district, il fut possible de détecter séparément les effets du rayonnement gamma terrestre et ceux dus aux examens prénataux par rayons X. D'après ces estimations, le risque cancérigène par unité de dose est plus grand pour les irradiations du foetus par le rayonnement ambiant que celles provenant des examens par rayons X pratiqués juste avant la naissance. De ce fait la proportion des cancers causés chez les enfants par le rayonnement ambiant (environ 70 %) est beaucoup plus grande que la proportion des cancers causés par les examens prénataux par rayons X (environ 8 %).

EN RESUME

Ni l'étude d'Oxford sur les cancers des enfants ni l'analyse MSK des données sur les travailleurs de Hanford ne sont dans la ligne des recommandations de la CIPR. L'étude d'Oxford a montré que (a) une irradiation par rayons X peu avant la naissance est suffisante pour accroître le risque de cancer mortel à court terme ; (b) les irradiations par rayons X juste avant la naissance sont moins dangereuses que celles pratiquées très peu de temps après la conception et (c) la cause principale de la mortalité précoce par cancer est l'irradiation des foetus par le rayonnement ambiant.

L'analyse MSK des données de Hanford est sur des bases moins certaines mais les résultats, jusqu'ici, suggèrent que (a) il existe un risque de cancer pour les adultes à des doses bien en-dessous des 5 rem par an (c'est la dose maximale admissible recommandée par la CIPR pour les travailleurs) ; (6) Le risque par unité de dose augmente aux faibles doses, il croît avec l'âge ;(c) aux faibles doses il n'existe plus de relation spéciale entre le rayonnement et la leucémie myéloïde et (d) dans la mesure où les doses de rayonnement reçu sont faibles et demeurent bien en-dessous des seuils d'apparition des lésions évidentes sur les tissus, il n'y a pas d'effets à long terme autres que les cancers.

Bien que les données de la RERF sur les survivants japonais

soient le principal support aux recommandations de la CIPR, certains aspects de la mortalité subie par les survivants des bombes A, sont difficiles à concilier favec la théorie que tous les effets différés du rayonnement (même aux fortes doses) sont d'origine mutagènes. Par exemple si l'on enlève de la mortalité générale les morts par cancers et par maladies cardio-vasculaires, il reste un grand nombre de morts dont la relation avec les doses est décroissante pour des doses inférieures à 100 rads et croissante au-delà. Par conséquent, il se pourrait que nous soyons témoins des effets à long terme d'un dommage intense et étendu à la moelle osseuse dans une population qui, ayant reçu de fortes doses de rayonnement, était en grande partie composée de gens dont la solide constitution naturelle les avait aidés à survivre aux suites des bombardements, c'est-à-dire de gens exceptionnellement résistants aux infections.

Il y a d'autres raisons de suspecter que les fortes doses de rayonnement ont des effets destructifs sur les tissus qui empêchent la pleine expression des dangers cancérigènes. Par exemple, dans les premières années de l'étude sur les malades atteints de spondylarthrite ankylosante il y avait un excès bien plus grand de morts par anémie aplasique que par leucémie [3]. Et aussi parmi les 1297 personnes exposées in utero aux rayonnements des bombes A il n'y a pas eu de mort par leucémie pendant les dix années qui suivirent [12] ; on a coutume d'attribuer le surplus de mortalité par anémie aplasique à des "erreurs de diagnostics", et le déficit de mortalité par leucémie à la petite taille de la population étudiée. La première explication n'est pas satisfaisante pour les raisons déjà discutées plus haut et le fait que les irradiations in utero proviennent d'une très grande série de nés vivants dont la localisation et les circonstances au moment des bombardements étaient connues avec précision [12]. Par conséquent la RERF devrait être en mesure (a) de fournir de plus amples informations sur ces irradiations et (b) de résoudre le puzzlle des anémies aplasiques en montrant comment la mortalité par infection après 1950 est reliée à l'épidémie d'effondrement aigu de la moelle osseuse en 1945 [14]. La CIPR ainsi que les autres comités chargés de fixer les normes de radioprotection on un grand besoin de cette information, et leur

réputation d'examiner sans biais les recherches effectuées sur les effets du rayonnement sur la santé serait rehaussée si on les voyait presser la RERF de fournir de nouvelles données et être pareillement critiques vis à vis de toutes les études sur les fortes et les faibles doses.

Il y a certains désaccords entre ces études qui nous obligent à mettre en question certaines hypothèses. Par exemple la forme de la courbe de réponse effets /dose pour la mortalité par cancers parmi les travailleurs de Hanford est compatible avec le fait qu'il y a un accroissement du risque par unité de dose aux faibles doses, même quand il s'agit de très petites doses. Par conséquent, bien qu'on suppose que la réparation des chromosomes cassés par l'irradiation réduise le risque cancérigène, ce changement précoce pourrait avoir un effet opposé en facilitant la survie des cellules mutantes. De plus l'hypothèse d'une relation prépondérante entre leucémie myéloïde et rayonnement n'obtient l'appui d'aucune étude concernant les faibles doses, en particulier de l'étude d'Oxford sur les cancers chez les enfants. Par conséquent, la relation observée dans toutes les études concernant les fortes doses pourrrait être la réponse aux dommages à la möelle qui parfois permet une multiplication rapide des cellules mutantes qui s'oppose avec succès à un très fort risque d'infection.

REFERENCES

[1] . **ICRP 26** . Pergamon Press 1977

[2] . **BEEBE G.W., KATO H. & LAND C.E.** Life Span Study Report 8, Mortality of Atomic Bomb Survivors . Radiation Effects Research Foundation Technical Report 1-77, Hiroshima, 1977

[3] . **COURT BROWN W.M. & DOLL R.** Leukaemia and Aplastic Anaemia in Patients Irradiated for Ankylosing Spondylitis . MRC Special Report Serie N°295 . London : HMSO, 1957

[4] . **KNEALE G.W. & STEWART A.M.** Prenatal X-rays and Cancers : Further tests of data from OSCC . Health Physics, 1986, 51, N°3, 369-376 [OSCC = Oxford Study on Childhood Cancer]

[5] . **MANCUSO T.F., STEWART A.M. & KNEALE G.W.** Hanford I : Radiation Exposures of Hanford Workers dying from Cancer and Other Causes . Health Physics, 1977, 33 : 369-384

[6] . **KNEALE G.W. , MANCUSO T.F. & STEWART A.M.** Hanford Radiation Study III : A Cohort Study of the Cancer Risks from Radiation to Workers at Hanford (1944-77 deaths) by the Method of Regression Models in Life-Tables . Brit. J. Industrial Med., 1981, 38 : 156-166

[7] . **ICRP 1975** Committee Proceedings ICRP/79/CI-11

[8] . **BEEBE G.W., LAND C.E. & KATO H.** The hypothesis of radiation-accelerated aging and the mortality of Japanese A-bomb victims (IAEA-SM-224/601) . in "Late Biological Effects of Ionizing" . Proceedings of a Symposium, Vienna . 13-17 March 1978, Vol I, Radiation

[9] . **HENDRY J.H. & LAJTHA L.G.** The Response of Hemopoietic Colony-Forming Units to Repeated Doses of X-Rays . Radiation Research 1972, 52 : 309-315

[10] . **STEWART A.M. & KNEALE G.W.** Non-Cancer Effects of Exposure to A-bomb Radiation . J. Epid. & Comm. Health, 1984, 38 N°2, 108-112

[11] . **KNEALE G.W., MANCUSO T.F. & STEWART A.M.** Identification of Occupational Mortality Risks for Hanford Workers . Brit. J. Indust. Med., 1984, 41 : 6-8

[12] . **JABLON S. & KATO H.** Childhood Cancer in Relation to

Pre-Natal Exposure to Atomic Bomb Radiation . Lancet, 1970, ii 1000-1003

[13] . **KNEALE G.W. & STEWART A.M.** Childhood Cancers in the U.K. and their Relation to Background Radiation . Proc. Int. Conf. Biol. Effects of Ionizing Radiation, Hammersmith Hosp., London, Nov. 1986, 24-25, Radiation and Health, p. 203-220 (1987)

[14] . **OKHITA T.** Acute Effects of A-bomb Radiations . J. Rad. Res (Tokyo), 1975, 16 (Suppl), 49-66

Présentation de quelques études effectuées aux Etats-Unis sur les faibles doses de rayonnement et le cancer

Carl J. Johnson

Carl J. Johnson est médecin de l'Hygiène au Département de la Santé du Dakota du Sud, Pierre SD 57501 USA, et Professeur associé à l'Ecole de Médecine de l'Université du Dakota du Sud.

Ce texte a été présenté à l'Université de Bâle, le 9 juin 1987, à l'Université de Zurich le 10 juin et aux Universités de Berne et de Lausanne le 11 juin 1987.

Le désastre de Tchernobyl fut révélé au public par la découverte de panaches radioactifs balayant la campagne suédoise. La dénégation initiale russe quant à sa responsabilité illustre à nouveau le fait que le public ne peut connaître la pleine étendue de tels désastres s'il ne dispose pas d'un équipement de contrôle pour détecter les gaz et les particules radioactifs, ainsi que d'un système efficace de surveillance pour mesurer la radioactivité dans l'air, l'eau, le sol et la chaîne alimentaire. Comme nous vivons à une époque nucléaire et parce que le monde entier est contaminé par l'industrie nucléaire et les essais des bombes nucléaires, les communautés locales et les familles concernées devraient posséder des contrôleurs de rayonnement afin d'effectuer leur propre surveillance.

Le fait que les informations concernant Tchernobyl aient été rendues publiques peut assurer qu'avec le temps, nous connaîtrons le plein impact de ses rejets radioactifs en termes de maladie et de mort par cancer et autres effets du rayonnement tels que des malformations à la naissance et une mortalité infantile accrue. Malheureusement, il se peut que nous ne puissions jamais connaître l'étendue totale des désastres nucléaires du passé parce qu'il n'y a pas eu d'efforts concertés pour évaluer avec exactitude l'impact de ces rejets radioactifs [1]. Les désastres nucléaires de Kyshtym, Rocky Flats, des installations de Savannah River, de Hanford et autres, et dans les sites des essais nucléaires aux Etats Unis en Russie et dans les autres pays nucléaires, n'ont pas été mis à profit pour effectuer les études prospectives sur les effets sur la santé qu'il aurait été possible de réaliser. Aujourd'hui le poids de l'opinion publique peut exiger que soient révélés au public de tels rejets radioactifs quand ils ont lieu, et peut-être y aura-t-il des fonds disponibles pour effectuer de telles études prospectives approfondies.

En tant que Médecin responsable des services de santé et épidémiologiste du Département de la Santé d'un grand comté du Colorado, il m'a été demandé de mener une série d'investigations sur la contamination par des radionucléides autour d'une installation de retraitement de plutonium et d'uranium de mon secteur. J'ai eu le

soutien de plusieurs organismes fédéraux pour effectuer ces recherches. Cependant des porte-parole de l'industrie parmi lesquels se trouvaient plusieurs fonctionnaires dont la sympathie allait à l'industrie nucléaire, s'opposèrent à ces études. Les organismes fédéraux ont maintenant confirmé mes résultats. La confirmation la plus récente vient du Laboratoire de Los Alamos qui a corroboré mon rapport sur l'excès des taux de cancer chez les travailleurs du plutonium à l'installation nucléaire de Rocky Flats, après une étude qui a duré sept ans et qui a coûté plus d'un million de dollars [2-5]. Je présenterai ici une série de mes recherches sur les faibles doses de rayonnement et leurs effets sur la santé.

ETUDES ENVIRONNEMENTALES

J'ai été inspecteur de l'Hygiène dans la Comté de Jefferson (Colorado), il y a là une importante mine d'uranium, la mine Schwarzwalder, ainsi nommée d'après le nom de l'homme qui y découvrit des gisements d'uranium. Cette mine a produit de grandes quantités d'uranium depuis les années 50 et sa valeur avoisine le milliard de dollars [6]. De grandes quantités d'eau radioactive sont déversées chaque jour pour permettre aux opérations de continuer. Plus d'un million de gallons (4 000 000 de litres) d'eau furent parfois pompés de cette mine vers les réserves publiques d'eau de la région de Denver. Une commune proche reçut de l'eau potable contaminée en émetteurs alpha (essentiellement de l'uranium) à plus de 400 picocuries par litre (ou 880 désintégrations nucléaires par minute et par litre). La limite permise par la Commission de l'Energie Atomique (AEC) pour l'uranium dans l'eau a été pendant un moment de 40 000 picocuries par litre, plus tard cette limite fut réduite à 10 000 puis 6 000 pCi/l. En 1978 la limite fixée par l'Etat du Colorado était également de 6 000 pCi/l. L'Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis approuvait cette valeur pour la concentration d'uranium dans l'eau. Le Conseil d'administration pour le contrôle de la contamination de l'eau de la région vint me consulter sur les risques que pourrait faire peser sur la santé l'usage permanent de cette eau. En réexaminant un rapport du Comité de l'Académie Nationale des Sciences, pour la qualité de l'eau,

il était clair que des niveaux beaucoup plus faibles que 400 pCi/l produiraient avec le temps des doses importantes de rayonnement pour les os et d'autres organes. Une limite de 10 pCi/l (0,37 Becquerel/litre) serait cohérente avec les normes habituellement admises pour les limites de concentration du radium dans l'eau.

A quatre reprises j'ai demandé la tenue d'une audition publique sur les décharges de la mine dans les réserves publiques d'eau, mais je n'ai reçu aucune réponse. J'ai alors pressé l'agence régionale de l'eau d'aller devant les tribunaux avec mon soutien comme témoin expert. Une semaine avant l'audience du tribunal, l'Agence pour la Protection de l'Environnement des Etats-Unis envoya une première lettre d'avis recommandant une limite de concentration non pas de 6000 pCi/litre mais de 10 pCi/litre, soit une réduction d'un facteur 600.

L'historique de cette affaire illustre un problème fondamental de l'industrie nucléaire. De nombreuses normes de radioprotection ne sont pas réalistes et sont incapables d'assurer une bonne protection. Elles semblent avoir été établies pour protéger l'industrie contre les procès que pourraient intenter des travailleurs ou des personnes habitant en aval ou sous le vent des installations et qui se plaindraient des dommages causés par l'exposition au rayonnement. De telles normes ou directives non protectrices servent aussi à limiter les coûts des modifications à effectuer sur les équipements qui seraient nécessaires afin de minimiser les rejets radioactifs et de protéger les travailleurs.

En décembre 1974, un fonctionnaire de l'administration régionale fut appelé à enquêter sur les conditions de sécurité dans lesquelles un grand nombre de maisons allaient être construites sur 6 à 7 kilomètres carrés de terrain contaminé, directement adjacent et sous le vent du site nucléaire de Rocky Flats. Après avoir discuté de cette proposition avec le Centre National de Recherche Atmosphérique, je m'opposais à ce qu'on reconvertisse cette zone libre en zone d'habitation car le terrain était contaminé par du plutonium avec une concentration au moins 7 fois supérieure à celle approuvée par l'Etat pour les travailleurs du bâtiment [7]. Malgré ces concentrations excessives en plutonium, l'Etat

avait déjà approuvé l'utilisation de ce terrain pour la construction d'habitations. La demande de développement de ce secteur pour des habitations fut alors rejetée par l'administration du comté et en fin de compte les propriétaires des terrains poursuivirent en justice le centre de Rocky Flats et reçurent d'importants dédommagements dix ans plus tard.

En raison d'erreurs et de résultats contradictoires dans les études de sol autour du site, j'ai proposé un examen de validation pour évaluer l'exactitude des études géologiques des Etats-Unis [6]. Le support technique fut d'abord fourni par la Commission de l'Energie Atomique, mais ce support fut retiré quand les résultats de l'étude furent connus. Puisque la préoccupation était celle du risque potentiel, nous avons collecté des échantillons de poussière respirable venant du sol, en 72 emplacements sur des distances allant jusqu'à 32 km du site de Rocky Flats. Ceci incluait la plus grande partie de la région urbaine de Denver. En procédant ainsi, nous avons trouvé au voisinage du site des quantités de plutonium beaucoup plus grandes que celles trouvées précédemment. A des distances plus grandes nous avons trouvé des niveaux de retombées moindres que précédemment. Les concentrations en plutonium étaient environ 44 fois plus fortes en moyenne que dans les études antérieures et jusqu'à 286 fois plus fortes. Les concentrations en césium 137 sur des propriétés agricoles privées près du site étaient 17 fois plus élevées que les concentrations ambiantes provenant des retombées mondiales (les premières études de la Commission de l'Energie Atomique faites suivant les procédures légales faisaient état de concentrations en excès dans le sol de strontium 90 et de curium 242).

Les agences nucléaires ne firent aucune critique du projet expérimental jusqu'à ce que les résultats en soient connus. A ce moment-là de nombreuses objections furent soulevées. Cependant la Commission de l'Energie Atomique finança une étude très similaire sur la région autour du site de Savannah River. Elle aussi fournit des données très précises sur les dangers respiratoires dus à un sol contaminé en surface [1-8].

ETUDES SUR DES TRAVAILLEURS DANS LES INSTALLATIONS NUCLEAIRES

Le plutonium est extrêmement radiotoxique comme les autres transuraniens tels que le curium et l'américium [3]. Dans une étude sur la carcinogénèse du plutonium faite sur des animaux [9], 27 % développèrent des mésothéliums et un total de 38 % développèrent des sarcomes de divers types, y compris des sarcomes non différenciés, des sarcomes des cellules réticulaires, des fibrosarcomes, des liposarcomes, des rhabdomyosarcomes et liomyosarcomes avec une période moyenne d'induction de 1 an. Il y avait aussi un excès d'incidence des adénosarcomes mammaires et un adénome rénal. L'excès total des incidences de cancer était de 114,4 % car un grand nombre d'animaux avaient deux types de cancers différents [9]. Une autre étude trouva un excès notable de leucémies [10]. Comme l'indique un rapport récent de l'Académie Nationale des Sciences des Etats-Unis, les cancers peuvent être induits par les rayonnements ionisants virtuellement dans tous les tissus du corps [11].

On a beaucoup appris sur les effets biologiques du plutonium, du curium et des autres transuraniens chez les animaux et il y a également des preuves tangibles d'effets sur l'homme [12-14]. Une étude comportant l'autopsie d'ouvriers travaillant dans des installations nucléaires, met en évidence d'importantes concentrations en plutonium dans tous les organes mesurés, y compris le cerveau, la peau, la prostate et les testicules [16]. Une étude a été faite sur le taux d'aberrations chromosomiques parmi 241 travailleurs du plutonium de Rocky Flats. Les travailleurs qui présentaient de faibles dépôts de plutonium dans les organes (0,4 à 4 nanocuries ou milliardièmes de curies) avaient un taux d'aberrations chromosomiques de 3,6 %. Ce taux était supérieur de 30 % à celui observé chez leurs camarades ayant moins de 0,4 nanocurie (1 nanocurie est équivalent à 37 becquerels et 0,4 nanocurie représente 15 Bq) [9]. Ces niveaux de contamination ne représentent que 1 à 10 % de la limite admissible de la charge corporelle. Ces effets peuvent être considérés comme des effets à très long terme car le taux d'excrétion du plutonium hors du corps est

très lent (la moitié de la charge disparaît environ en 200 ans). Des rapports antérieurs de Morgan et Myers prévoyaient ces effets [17-18].

Il n'y avait pas eu d'étude de santé sur ces travailleurs. Le nombre de cancers parmi eux était rapporté chaque année par les responsables de l'installation depuis 1978. La conclusion généralement admise était qu'il y avait peu de cas pour un grand nombre d'employés. Cependant, en 1980, j'ai entrepris une analyse de morbidité relative sur les travailleurs en comparant les cas à l'ensemble des mâles blancs du Colorado. J'ai trouvé une incidence 8 fois plus forte pour les cancers du cerveau, 3 fois plus forte pour les mélanomes malins, et un excès de 23 % des cancers des voies respiratoires *. Une analyse plus détaillée ne fut possible car la direction de l'installation nucléaire refusa de fournir plus ample information.

J'analysai ensuite les résultats d'une étude faite sur l'autopsie de 15 travailleurs d'installations nucléaires. pour lesquels les charges corporelles (0,4 nanocurie ou 14,7 becquerels) étaient inférieurs à 1 % de la charge corporelle maximale admissible [20]. Ces charges corporelles, ou dépôts dans les organes, allaient de quelques picocuries (1 picocurie (pCi) est égal à 0,037 Bq) à 360 pCi (13,3 Bq) avec une valeur moyenne de 152 pCi (5,6 Bq). Huit de ces 15 travailleurs étaient morts de cancer alors que sur la base des données des Etats-Unis il en était attendu 2,79, soit un facteur de risque relatif de 2,9. On observait 3 morts par cancer des bronches pour 1,08 attendu seulement. Les 5 autres cas comprenaient 2 morts par leucémie pour 0,08 cas attendu, une tumeur du cerveau, un mélanome malin et un adénosarcome des reins. L'un des cas de leucémie était une leucémie lymphoblastique aigüe.

Le Département de l'Energie (DOE) lança une étude de mortalité chez les travailleurs et dans son rapport préliminaire (1982) admit l'existence d'un léger excès de tumeurs (qualifiées de "bénignes et non spécifiques") [21-22]. Après 7 ans et plus d'un million de dollars dépensés, mes premiers résultats furent confirmés par DOE dans une étude publiée en février 1987 [2-5].

Brièvement résumée, l'étude est la suivante : le Laboratoire national de Los Alamos examina la mortalité par cancers parmi 5413 hommes (blancs) employés durant au moins deux ans dans l'usine de fabrication d'armes nucléaires de Rocky Flats [2]. Ceux qui avaient plus de 2 nanocuries (74 Bq) de plutonium fixés dans leurs organes ont été comparés à ceux qui avaient moins de 2 nanocuries (cette valeur représente 5 % de la limite maximale admissible). Les résultats sont les suivants :

- Après une période d'induction (période de latence) de 2 ans, il y eut un excès, par un facteur 7,7, de néoplasmes lymphopoiétiques (cancers lymphatiques), un excès, par un facteur 2, des lymphosarcomes et des cellules réticulaires, il y eut 3,3 fois plus de cancers de l'oesophage que ceux attendus, 80 % plus de cancers de l'estomac et 3,7 fois plus de cancers de la prostate.

- Après 5 ans il y avait 9,9 fois plus de cancers lymphatiques que ce que l'on attendait, environ 5 fois (4,9) plus de cancers de la prostate, un excès par un facteur 3,7 des cancers de l'oesophage, 2,5 fois plus de lymphosarcomes et de sarcomes des cellules réticulaires, 2,2 fois plus de cancers de l'estomac, 1,7 fois plus de cancers de l'ensemble du système digestif et un excès de 62 % des cancers du colon.

- Après 10 ans il y avait 5,2 fois plus de cancers lymphatiques, un excès de 61 % pour l'ensemble des cancers, 10,6 fois plus de cancers de la prostate, 5,7 fois plus de cancers du colon, 4,8 fois plus de cancers de l'estomac et un excès de 43 % des cancers du poumon.

Les travailleurs dont les doses cumulées enregistrées étaient de 1 rem (0,01 Sievert ou 10 millisieverts) ou plus en rayonnement gamma ont été comparés à ceux dont les doses cumulées étaient inférieures à 1 rem. Les résultats sont les suivants :

- Après 2 ans, il y avait 3,46 fois plus de tumeurs du cerveau (non spécifiées) que prévues, 49 % de cancers lymphatiques supplémentaires et un excès de lymphosarcomes, de sarcomes des cellules réticulaires et de leucémies myéloï des.

- Après 5 ans il y avait un excès de 73 % des cancers du cerveau, un

excès de 69 % des cancers du foie et un excès de 65 % des cancers de la prostate.

- Après 10 ans il y avait un excès par un facteur 4 (x4,0) des tumeurs du cerveau, 3 fois plus de lymphosarcomes et de sarcomes des cellules réticulaires, 3 fois plus de leucémies myéloïdes et 2,8 fois plus de cancers du foie. Les auteurs du rapport émettent des réserves sur leurs résultats en signalant que l'étude portait sur des petits nombres.

En raison de l'effet du "travailleur en bonne santé" qui affecte les employés aptes à ces travaux, instruits et capables de passer les contrôles de sécurité, l'impact réel sur la santé des travailleurs a été probablement plus important que ne le laissent prévoir ces résultats [3]. Il est surprenant qu'il n'y ait pas eu d'enquête concernant la consommation de tabac et qu'aucun contrôle n'ait été fait pour ce facteur très important. Si les travailleurs en bonne santé, plus instruits que la moyenne et capables de passer les contrôles de sécurité, fumaient beaucoup moins que la population des Etats-Unis dans son ensemble, cela affecterait les résultats d'une façon majeure. Un moyen d'évaluer l'effet du tabac consiste à comparer le nombre de morts observés par cancer du poumon à ceux attendus : il y eut 30 morts par cancer du poumon pour 46 attendus [2]. Il est regrettable qu'avec les ressources du Département de l'Energie et des Centres de contrôle des maladies, on fasse encore confiance aux études de mortalité pour établir le détriment puisque la moitié environ des personnes qui sont atteintes de cancer ne meurent pas effectivement de cancer, elles échappent ainsi aux études de mortalité ce qui compromet sérieusement les résultats [3]. De plus les périodes de survie après le développement du cancer qui vont de quelques mois à quelques années, voire des décennies, introduisent un élément de confusion.

EFFETS SUR LA POPULATION DE LA CONTAMINATION PAR LES INSTALLATIONS NUCLEAIRES HORS DES SITES

Après avoir examiné la radiotoxicité du plutonium et des autres transuraniens et la portée des rejets de ces éléments par l'installation de Rocky Flats (d'après les documents rendus publics par la direction

de l'usine lors des procédures judiciaires intentées par les propriétaires fonciers), je commençais à m'inquiéter des effets sur la population vivant sous les vents dominants de l'installation nucléaire dans la région de Denver. Les travailleurs de l'industrie nucléaire portent des vêtements protecteurs, ils respirent un air soigneusement filtré, ils sont fréquemment contrôlés en ce qui concerne leurs niveaux d'irradiation, et ils sont surveillés médicalement (ce qui peut inclure des études sur les aberrations chromosomiques) mais les familles qui vivent sous les vents dominants des installations nucléaires ne bénéficient pas d'une telle protection. Il arrive qu'elles soient réellement dans les panaches rejetés par l'installation. A l'usine de Rocky Flats, il y a 29 cheminées qui rejettent du plutonium et d'autres particules et gaz radioactifs.

L'exposition de la population commença en 1953 et atteignit ses niveaux les plus élevés en 1957 [23] lors d'une explosion (une réaction en chaîne de fission peut-être) qui souffla tous les filtres industriels (plus de 600) dans la cheminée principale. Ceci libéra dans l'environnement, sous forme de fines poussières, le plutonium et l'uranium accumulés pendant 4 ans dans le système de filtration [1,23]. Les mêmes filtres avaient été utilisés pendant les 4 ans de retraitement et de purification. Un lourd panache noir de fumée s'échappa de l'usine et passa sur la région de Denver pendant près de 12 heures. Une étude alors secrète, faite par la Commission de l'Energie Atomique (maintenant DOE) après cet incident, trouva une forte contamination du sol par du plutonium et de l'uranium de qualité militaire hors du site, y compris dans des propriétés privées et sur le terrain de deux écoles élémentaires situées respectivement à des distances de 9,6 et 19,3 km [23]. Je choisis dans mon étude la période 1969-1971 afin d'utiliser les données fédérales disponibles sur l'incidence des cancers pour la "région statistique urbaine standard de Denver". Ces données permettaient d'observer une période de latence suffisante comprise entre 12 et 16 ans.

Le plutonium est virtuellement soluble à 100 % dans l'eau potable de Denver par suite de la présence de carbonates et de fluorures dans l'eau. Ceci a été confirmé par les quantités appréciables de plutonium

trouvées dans l'eau potable de Denver à une date aussi récente que 1972 (de 7.000 à 40.000 fois la contamination ambiante provenant des retombées mondiales) [24, 25]. Depuis, les concentrations ont été moindres. La chloruration de l'eau par le service des eaux change la valence du plutonium de sorte que son absorption par le tractus gastro-intestinal est renforcée d'un facteur allant jusqu'à 1.750 [26]. En outre, le plutonium est beaucoup plus facilement absorbé par le système gastro-intestinal des enfants, au moins d'un facteur 100 chez les enfants de moins d'un an [27], et d'un facteur 1.000 chez les animaux qui allaitent [28]. De plus, quand le plutonium est fixé dans la chaîne alimentaire et incorporé biologiquement, son absorption est renforcée d'un facteur 10 [29].

J'ai achevé en 1977 une étude préliminaire des taux de mortalité par leucémie dans les secteurs recensés près de l'usine. J'ai trouvé un excès significatif de morts par leucémie. L'année suivante j'ai trouvé un excès de morts par cancer du poumon et de malformations congénitales. En 1979, j'ai obtenu les données sur l'incidence des cancers de l'Institut National du Cancer, et j'ai pu mener à bien une analyse de l'incidence des cancers corrigée suivant l'âge, la race, le sexe, l'ethnie (1969-1971) dans les secteurs recensés ayant des niveaux identiques de contamination en plutonium dans la région de Denver [23]. Dans la région suburbaine à 21 km de l'usine sous les vents dominants, il y avait un excès de 16 % pour l'ensemble des cancers. Dans la région contiguë à une distance plus grande, l'excès était de 10 %. Pour les régions où la contamination était moindre, l'excès était de 6 %. Le centre urbain de Denver avait un taux d'incidence de cancer bien moindre que les régions suburbaines proches de l'usine. Les types prédominants des cancers en excès étaient ceux qui correspondaient aux organes les plus radiosensibles mais on trouvait aussi un excès de cancers des testicules, de la prostate et des ovaires.

Des copies de ce rapport furent adressées aux agences nucléaires et à beaucoup d'autres, mais il y eut un barrage de critiques pour la plupart non fondées. Une version révisée de mon rapport a été publiée par l'Académie Royale des Sciences de Suède en 1981 [23]. Il a

été maintenant confirmé par une étude subventionnée par le Département de l'Energie, lequel, cependant, mena des études suivant d'autres approches afin de montrer que l'excès de cancer était simplement dû à un effet urbain [30]. Ils ne purent le faire qu'en sélectionnant des secteurs recensés nouvellement développés au voisinage de l'usine à des fins de comparaison et en combinant la population la plus proche de Rocky Flats avec la ville universitaire de Boulder qui est à l'opposé des vents dominants de l'usine. Cela n'est pas une approche valable [31,32]. En raison de la croissance rapide de la population de la région de Denver, particulièrement dans les zones suburbaines voisines du site nucléaire, un suivi continu de cette population exigerait une étude de cohorte similaire à celle que j'ai entreprise sur la population résidant sous les vents dominants dans l'Utah. J'ai élaboré un projet pour de telles études.

Le taux de mortalité infantile pour le Comté de Jefferson (y compris le secteur I) était inférieur en 1950 au taux national des Etats-Unis. Après que Rocky Flats soit entré en fonctionnement en 1953, il s'éleva au-dessus du taux national et atteignit son maximum entre 1955 et 1958 (à peu près à l'époque de l'incendie et de l'explosion de 1957) [32]. En outre, les taux de mortalité des foetus augmentèrent brusquement après 1953. Les taux de mortalité par leucémie chez les enfants dans le Comté de Jefferson étaient inférieurs aux taux nationaux pendant les 5 ans qui ont précédé 1953 mais par la suite, ils augmentèrent et atteignirent environ le double des taux nationaux après 1957. On nota aussi chez les enfants une augmentation de la mortalité par les autres cancers majeurs. Des tendances similaires furent observées dans le Comté de Denver (secteurs II et III). Les enfants nés après 1957 (groupe d'âges 0-14 en 1970) avaient une incidence de cancer plus faible [32].

De 1970 à 1980, il y a eu une forte tendance à la croissance de l'incidence des cancers pour l'ensemble de la zone urbaine de Denver. L'incidence des cancers dans les secteurs exposés I-III corrigée pour l'âge, la race, le sexe et l'ethnie, s'est accrue et passa d'un excès de 491 cas en 1969-71 à un excès de 1.123 en 1979-81 [32]. Une étude de

Berg a comparé l'incidence des cancers en 1979-81 dans les secteurs urbains de Denver (y compris mes secteurs I et III ainsi que la population de contrôle du secteur IV) à celle de la période 1969-71. Il trouva un excès d'environ 2.000 cas après ajustement pour tenir compte des changements survenus dans la population [33]. Les habitants de la région de Denver avaient en 1980 un risque de 30 % de développer un cancer, peau exclue, ou un risque supérieur à 40 % de développer un cancer quelconque. Ceci représentait un accroissement de 15 % pendant 10 ans de l'incidence des cancers corrigée pour l'âge, dans une région urbaine en grande partie non industrielle connue autrefois pour son environnement sain [33]. Ce résultat doit être comparé à l'accroissement de 9,3 % seulement entre 1973 et 1983 obtenu dans une étude d'incidence des cancers faite par l'Institut National du Cancer sur environ 13 % de la population des Etats-Unis [34-35]. Ainsi, le taux d'accroissement de l'incidence des cancers dans la région de Denver pendant cette période de 10 ans a été environ 61 % plus élevé que la tendance nationale.

EFFETS DES RETOMBEES RADIOACTIVES

En 1980, un ancien Secrétaire USA à l'Intérieur, Stewart Udall, m'invita à proposer une étude sur les effets sanitaires sur la population du Névada qui vit sous les vents dominants du site des essais de bombes nucléaires. Dans mon approche de ce problème, je choisis les annuaires téléphoniques des villes connues pour être sur le trajet des retombées des panaches et nuages dans le Sud Ouest de l'Utah et les régions adjacentes du Névada et de l'Arizona [36-37]. St George, la plus grande ville, était à 225 km du site des essais nucléaires et Bunkerville (Névada) était la plus proche, à 180 km du point zéro [36]. Les dépôts dus aux retombées n'étaient pas uniformes à cause de la topographie montagneuse de la région. Un rapport conjoint de l'Université de Californie et du Département de l'Energie signalait que "une retombée par nuage bas suivra vraisemblablement les vallées. Dans ce cas, le nuage ne se dispersera probablement pas sur une distance de 1 à 6 miles comme on le suppose", et "avec des vents à plus forte altitude, la

turbulence locale plus grande augmenterait probablement les dépôts localement, en particulier sur les pentes à l'opposé du vent" [38].

Les estimations du Département de l'Energie pour l'irradiation de la population dans la région ont été faibles, mais elles ont été contredites [36]. Les instruments de contrôle des rayonnements enregistrent principalement le rayonnement gamma. Le Département de l'Energie (anciennement Commission pour l'Energie Atomique, AEC) ne mesurait pas correctement le rayonnement béta qui peut être de plusieurs ordres de grandeur plus fort que le rayonnement gamma dans les retombées des panaches et nuages des essais nucléaires. Des rapports de 130/1 et 157/1 entre le rayonnement béta et le rayonnement gamma dans les retombées ont été mentionnés par certains auteurs. Une étude faite par K.Z. Morgan sur les navire cibles pour les tests dans le Pacifique de 1946-1948 (étude reprise ensuite par la Commission pour l'Energie Atomique) trouva elle aussi des valeurs très élevées pour le rapport entre le rayonnement béta et le rayonnement gamma. En "beaucoup d'endroits le rapport allait de 50 à 100/1" (Communication personnelle de K.Z. Morgan en 1986). Les risques encourus par inhalation des particules des retombées émettant des rayonnements béta, gamma et alpha, ont été reconnus dès 1951 par le Directeur du Laboratoire Scientifique de Los Alamos de l'Université de Californie (une installation du Département de l'Energie) qui affirmait que c'était "le problème majeur pour la sécurité" bien plus que "le danger des doses de rayonnement externe" [39].

Le rayonnement alpha émis par les particules des retombées est 20 fois plus nocif par rad pour les tissus que les rayonnements béta ou gamma. Et pourtant, le rayonnement alpha ne fut pas correctement mesuré dans les régions affectées par les retombées. Les isotopes de l'uranium, du plutonium et des autres transuraniens peuvent contribuer jusqu'à 40 % à la radioactivité totale des déchets des bombes nucléaires pendant une période allant de 20 heures à deux semaines après l'explosion. Une grande partie de la radioactivité est due au rayonnement alpha [41]. Le rayonnement alpha est un rayonnement à fort "transfert linéique d'énergie", comme le rayonnement neutron. Des

travaux récents de Hill et al. ont démontré que les dommages provoqués par de faibles doses prolongées de tels rayonnements, sont considérablement plus importants [42]. Les transformations malignes induites par rad sont 9 fois plus élevées aux faibles doses (inférieures à 10 rads) qu'aux fortes doses. L'effet le plus grand par rad se produit pour les doses les plus faibles [42].

Dans les retombées, les particules qui émettent des rayonnements gamma, béta et alpha sont inhalées, ingérées et s'accumulent dans les organes du corps. Il en résulte, au cours du temps des doses aux organes beaucoup plus élevées que ce qu'indiquent les appareils de mesure du rayonnement [38]. De plus, les appareils de contrôle individuel de l'air indiquent des concentrations en radionucléides plus fortes de plusieurs ordres de grandeur par rapport aux contrôleurs d'ambiance [43]. De telles observations n'ont pas été faites pour les habitants des villes très touchées par les retombées, mais elles sont d'une importance primordiale pour évaluer les effets sur la santé pour les habitants du Sud Ouest de l'Utah durant la période 1951-1962. On ne peut pas avoir confiance dans les estimations officielles des niveaux de rayonnement faites par le Département de l'Energie. Si on cite ces estimations de DOE, il est nécessaire de faire des réserves et il faut prendre en compte les preuves qui indiquent des niveaux d'irradiations beaucoup plus élevées.

Chaque famille ou personne inscrite sur les annuaires téléphoniques en 1951 et encore inscrite en 1962, fit partie de la population étudiée. Le but de cette procédure était de sélectionner uniquement les personnes réellement présentes durant toute la période des essais atmosphériques des bombes nucléaires. Environ 90 % d'entre elles font partie de l'église mormone. Les Mormons sont connus pour avoir un taux de cancer 23 % plus bas que la moyenne nationale, en raison de leur mode de vie. Ainsi, seuls les Mormons furent pris en compte dans l'étude [44]. L'évolution des cancers chez eux depuis 1958 a été comparée à celle de tous les Mormons de l'Utah. Il est probable que tout le monde dans l'Utah a été affecté par les retombées, ainsi une population fortement exposée a été comparée à une population plus

faiblement exposée [36].

Un rapport préliminaire fut présenté en 1981 à l' Association américaine pour l'avancement de la Science. Le rapport définitif fut présenté à Salt Lake City en 1982 au cours d'un procès fédéral intenté contre le Département de l'Energie par plus de 1.100 personnes qui demandaient des réparations pour les dommages et les cancers mortels dus à l'irradiation par les retombées radioactives. Ce rapport fut examiné par une commission d'experts ("peer review") trois jours durant au cours du procès. Finalement le juge fédéral fonda sur ce rapport sa décision d'accorder des compensations. Ce rapport fut publié plus tard par l'Association médicale américaine en 1984 [36].

La population soumise aux retombées présentait un excès de cancers de 61 %. La leucémie était prédominante au début (1958-66) avec 19 cas, 5 fois plus que les 3,6 attendus. Cet excès persistait pendant la période ultérieure (1972-80), avec 12 cas observés pour 3,4 attendus. Il y avait un accroissement des lymphomes. Des cas de cancer de la thyroïde en excès apparurent rapidement et l'excès devint plus tard notable (14/1,7). On notait un excès de cancer du sein (27/14). Les cancers du tractus gastro-intestinal étaient plus importants que prévu. Les mélanomes étaient en excès (12/4,5), ainsi que les cancers des os (8/0,7) et les tumeurs du cerveau (9/3,9). Un sous-groupe ayant subi des retombées intenses avait une incidence de cancer plus forte. L'hypothèse selon laquelle ces cas peuvent être associés aux irradiations s'appuie sur la comparaison entre groupes, du rapport des cancers des organes les plus radiosensibles aux autres types de cancer.

La position prise par les agences fédérales était que leurs études sur leurs propres secteurs ne montraient pas d'excès de mortalité par leucémie. Cependant il y avait beaucoup de points faibles dans ces études fondées sur les certificats de décès [38]. En janvier 1987, l'Institut National du Cancer publia une étude sur les certificats de décès dans laquelle il y était reconnu un excès significatif de morts par leucémie dans la région située sous les vents dominants du site des essais [45]. Aucun autre type de cancer n'était trouvé en excès. Comme

dans les études antérieures il y avait de nombreuses erreurs ainsi que des négligences dans cette approche [38]. En particulier, l'Académie Nationale des Sciences a conclu que des expositions de population au rayonnement suffisantes pour induire un cas de leucémie, induiront à la longue également de 7 à 9 cas supplémentaires d'autres types de cancer [11]. Jusqu'à présent, les études de mortalité effectuées par l'Institut National du Cancer n'ont trouvé aucun excès de mortalité par cancer malgré l'existence d'un excès significatif des morts par leucémie. Les problèmes posés par les études fondées sur les certificats de décès sur une base sectorielle sont discutés en détail dans une publication récente [38].

Je recommande ma procédure pour les études futures sur les effets des retombées radioactives des tests de bombes et de la contamination hors des sites par les installations nucléaires telles que celles des réacteurs de Three Mile Island et Tchernobyl. Une véritable cohorte de personnes ayant vécu dans la région de forte exposition pendant toute la durée de l'expositon, devrait être suivie dans le futur. Diverses indications devraient être notées : numération des lymphocytes sanguins, taux d'aberrations chromosomiques, concentration des radionucléides dans le lait maternel et les dents de lait, mortalité foetale et infantile, taux d'incidence des cancers etc... Les données devraient être contrôlées pour l'âge, la race, le sexe, la religion, la consommation d'alcool et de tabac, la profession. Cette procédure peut être adaptée aux études sur les travailleurs des installations nucléaires. Le projet de recherche devrait déterminer des sous-groupes qui ont subi les plus fortes expositions de sorte que l'ensemble de la population étudiée puisse servir elle-même de population de référence, en complément d'un groupe de contrôle externe choisi de façon appropriée localement ou régionalement.

REFERENCES

[1] . **JOHNSON C.J.** Before Chernobyl : Hanford, Savannah River and Rocky Flats . JAMA (letter), 1987 : 257, 187

[2] . **WILKINSON G.S.,TIETJEN G.L., WIGGS L.D., GALKE W.A., ACQUAVELLA J.F., REYES M., YOELZ G.L. & WAXWEILER R.J.** Mortality among plutonium and other radiation workers at a plutonium facility . Am. J. Epidemiol. 1987, 125 : 231-50

[3] . **JOHNSON C.J.** Cancer in Rocky Flats plutonium workers . Am. J. Epidemiol, 1987, 126, in press

[4] . **JOHNSON C.J.** Higher cancer rates in nuclear plant workers . Presented at the Seventh Annual Meeting of Physicians for Social Responsibility, in Chicago, Illinois, on March 13, 1987

[5] . **JOHNSON C.J.** An evaluation of brain cancer, melanoma and respiratory cancer of employees of the Rocky Flats nuclear weapons plant in Jefferson County, Colorado . Presented at the Denver meeting of the U.S. Radiation Policy Council (7-29-80), to the Epidemiologic Exchange Session of the Annual Meeting of the American Public Health Association (10-20-80) and at the Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science (1-4-81) . Published in "Oncology Times", January 1981, 3 : 1, 7

[6] . **JOHNSON C.J.** Public health standards limiting the concentration of uranium in drinking water . Health Physics, 1986, 50 : 169-170

[7] . **JOHNSON C.J., TIDBALL R.R. & SEVERSON R.C.** Evaluation of soil contamination with plutonium : potential airborne-plutonium particle hazard in respirable dust on the surface of the soil . Science, August 1976, 193 : 488-490

[8] . **McLENDON H.R., STEWART O.M., BONI A.L. et al.** Relationships among plutonium contents of soil, vegetation and animals collected on or adjacent to an integrated nuclear complex in the humid southeastern United States of America . Transuranium Nuclides in the Environment, 347-363 . The International Atomic Energy Agency, Vienna, 1976

[9] . **SANDERS C.L. & JACKSON T.A.** Induction of mesothelioma and sarcoma from hot spots of plutonium-239 dioxide activity . Health Physics, 1972, 22 : 755-759

[10] . **SVOVODA V., SEDLAK A., BUBENIKOV A.D. et al.** Biological effects of bone-seeking alpha emitters with respect to the

risk of internal contamination in man . Czech Med, 1982, 5 : 80-89

[11] . **Report of the Advisory Committee on the Biological** National Research Council, Washington, DC 20006, 1972, 1980

[12] . **JOHNSON C.J.** Rocky Flats revisited . The Royal Swedish Academy of Sciences, Ambio, 1982, 11 : 377-378

[13] . **JOHNSON C.J.** Glioblastoma, other brain tumors and melanoma in plutonium workers . The Royal Swedish Academy of Sciences, Ambio, 1983, 12 : 280-281

[14] . **JOHNSON C.J.** Cancer incidence in an area contamined with radionuclides near a nuclear installation . The Royal Swedish Academy of Sciences, Ambio, August 1981, 10 : 176-182 ; reprinted in Colorado Medicine, October 1981, 78 : 385-393

[15] . **NORWOOD W.D. & NEWTON C.E.** Transuranium Registry : Study of 30 autopsies . Health Physics, 1975, 28 : 669-675

[16] . **BRANDOM W.V., SACCOMANNO G., ARCHER P.G., ARCHER V. & BISTLINE R.** Somatic cell chromosome and sputum cell cytology changes in humans exposed to 222 radon and 239 plutonium . Progress Report, Department of Energy Contract E 2902- 3649, Rockwell International, Rocky Flats Division, Health Sciences Group (with the University of Colorado Medical School and the University of Denver), Golden CO, 1976

[17] . **MORGAN K.Z.** Suggested reduction of permissible exposure to plutonium and other transuranium elements . American Industrial Hygiene Journal, 1975 : 567-575

[18] . **MYERS D.S.** A plea for consistent lung burden criteria for insoluble alpha-emitting isotopes . Health Physics, 1972, 22 : 905

[19] . **LAGERQUIST C.** Annual Report : Mortality and Radiation Exposure . Rockwell International, Rocky Flats Plant, P.O. Box 464, Golden CO 80401, July 1980

[20] . **JOHNSON C.J.** Carcinogenicity of plutonium, americium, curium and other transuranics in man at very small doses . Read before the American Public Health Association at the 1985 Annual Meeting in Washington, DC (11-19-85)

[21] . **VOELZ G.L., WILKINSON G.S., ACQUAVELLA J.F., TIETJEN G.L., BROCKBILL R.M., REYES M. & WIGGS L.** Rocky Flats Mortality Study, Playboy Resort and Country Club in Lake Geneva, Wisconsin (10-15-1981)

[22] . **BREEN J.H.** News Release : Rocky Flats Mortality Study Results Mean Less Worry for Plutonium Workers . Los AlamosNational Laboratory, University of California, Los Alamos, New

Mexico 87545 (10-15-81)

[23] . **Third National Cancer Survey : Incidence Data .** National Cancer Institute Monograph. Bethesda, MD : National Institutes of Health, 1975

[24] . **CLEVELAND J.M., REES T.F. & NASH K.L.** Plutonium speciation in water from Mono Lake, California . Science, 1983, 222 : 1323-1325

[25] . **JOHNSON C.J.** Contamination of municipal water supplies in the Denver metropolitan area by the Rocky Flats plutonium plant . Presented at the 146th Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science, in San Francisco, CA (1-4-80)

[26] . **LARSEN R.P. & OLDHAM R.D.** Plutonium in drinking water : Effects of chlorination on its maximum permissible concentration . Science, 1978, 201 : 1008-1009

[27] . **BAIR W.J. & THOMPSON R.C.** Battelle-Pacific Northwest Laboratories, in Response to Comments : Guidance on Dose Limits for Persons Exposed to Transuranium Elements in the General Environment . U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation Programs, Criteria and Standards Division, Washington, DC 20460 (EPA 520/4-78-010), 1978

[28] . **FINKEL M.P. & KISIELSKI W.E.** Plutonium incorporation through ingestion by young animals . in "The Health Effects of Plutonium and Radium", by Jee WSS (ed) . The J.W. Press, University of Utah, Salt Lake City, Utah, 1976

[29] . **SULLIVAN M.F. & CROSBY A.L.** Absorption of transuranic elements from rat gut . in "Pacific Northwest Laboratory Annual Report for 1975, Part !", Biomedical Services, BWNL-2000, Battelle-Pacific Northwest Laboratories, Richland, Washington, 1976

[30] . **CRUMP K.S., NG T.H., CUDDIHY R.G.** Cancer incidence patterns in the Denver metropolitan area in relation to the Rocky Flats plant . Am. J. Epidemiol., 1987, in press

[31] . **JOHNSON C.J.** Re : Cancer incidence in the Denver area related to Rocky Flats . Am. J. Epidemiol. (letter), 1987, in press

[32] . **JOHNSON C.J., ELLIS B., LEHMAN J. & KNEEL I.** Cancer incidence and mortality, 1947-1981, in "The Denver Standard Metropolitan Area downwind from the Rocky Flats Nuclear Plant" . Read before the 111th Annual Meeting of the American Public Health Association in Dallas, Texas, Nov. 16, 1983

[33] . **BERG J.** Cancer in Colorado : A New Hign Incidence Data . AMC Research Center, Denver, Colorado, 1982

[34] . **YOUNG J.L., PERCY C.L. & ASIRE A.J.** eds. Surveillance, Epidemiology, and End Results : Incidence and Mortality Data, 1973-1977 . National Cancer Institute Monograph 57, NIH Pub. .N°81-2330 . Washington, DC : US GPO, 1981

[35] . **HORM J., ASIRE A.J. & YOUNG J. et al.** 1986 Annual Cancer Statistics Review, National Cancer Institute, Pub. N°85-1837 . Washington DC : US GPO, 1981

[36] . **JOHNSON C.J.** Cancer incidence in an area of radioactive fallout downwind from the Nevada Test Side . J.A.M.A., 1984, 251 : 230-236

[37] . **JOHNSON C.J.** Radioactive fallout and cancer . J.A.M.A. (letter), 1984, 252 : 1855-6

[38] . **JOHNSON C.J.** A Cohort Study of cancer incidence in Mormon families exposed to nuclear fallout versus an area-based study of cancer deaths in whites in southwestern Utah . Am. J. of Epidemiol., 1987, 125 : 166-168

[39] . **GRAVES A.C. & FELT G.** Jangle Fallout Problems . In Operation Upshot-Knothole, Nevada Proving Grounds . University of California/AEC . Washington D.C. : U.S. Department of Energy, 1951 . Distribution prohibited by the Atomic Energy Act of 1946 ; released April 9, 1981

[40] . **BRADBURY N.E.** Written communication to Dr. Shields Warren, Director, Division of Biology and Medicine . US Atomic Energy Commission, Washington, DC, 1951 . Distribution prohibited by the Atomic Energy Act of 1946 . released April 9, 1981

[41] . **FELD D.T.** Mechanics of fallout . In : Adams R., Cullen S.,eds. The Final Epidemic. Educational Foundation for Nuclear Science, Chicago, IL 60637, 1981

[42] . **HILL C.K., BUONOGURO F.M. & MYERS C.P., et al.** Fission spectrum neutrons at reduced dose rates enhance neoplastic transformation, Nature, 1982, 298 : 67-69

[43] . **International Commission for Radiologic Protection** General principes of monitoring for radiation protection of workers . Publication N°12 . New York : Pergamon Press, 1968

[44] . **LYON J.L., GARDNER J.W. & WEST G.W.** Cancer incidence in Mormons and non-Mormons in Utah during 1967-75 . JNCI, 1980, 65 : 1055-61

[45] . **MACHADO S.G., LAND C.E. & McKAY S.W.** Cancer mortality and radioactive fallout in southwestern Utah . The American Journal of Epidemiology, in press

[46] . **JOHNSON C.J.** Selecting presumably radiogenic cancers for compensation (letter) . Am. J. Public Health, 1987, 77 : 93

Les Irraditions professionnelles et les arguments en faveur d'une réduction des doses limites

David Gee

Inspecteur National
d' Hygiène et de Sécurité
Général, Municipal, Boilermakers*
and Allied Trades Unions

Ce texte a été présenté par David Gee à la conférence de Londres (nov. 86) sur les effets biologiques des rayonnements ionisants. Il est reproduit dans le livre "Radiation and health" édité par Robin Russell Jones et Richard Southwood. John Wiley and Sons, 1987

INTRODUCTION

Le syndicat GMB a des membres exposés aux rayonnements au cours du retraitement des déchets nucléaires et de la fabrication des combustibles, dans les centrales nucléaires, dans la construction et l'entretien des sous-marins nucléaires, dans les services hospitaliers de radiologie (par rayons X) et de médecine nucléaire, dans les usines utilisant des sources radioactives. D'autres membres sont exposés par l'intermédiaire de la radiographie industrielle sur les chantiers de construction, dans les mines souterraines autres que celles du charbon, dans les dépôts de stockage de déchets et même par la manipulation de spécimens géologiques dans les musées. Depuis 1981 nous critiquons l'étroite représentativité de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) dont les membres cooptés recommandent les limites d'exposition au rayonnement devant être adoptées par les différents pays et nous mettons en doute l'acceptabilité de leurs limitations de dose. En 1983 [1] nous avons présenté nos arguments en faveur d'une réduction d'un facteur 5 des limites de dose admissible, au cours de l'Enquête Publique de Sizewell en vue de la construction de la centrale PWR.

Ce chapitre décrit la façon dont le syndicat GMB considère tous les agents nocifs rencontrés tant sur les lieux de travail que dans l'environnement; il résume la situation courante en ce qui concerne les expositions au rayonnement dans le Royaume Uni et nos arguments en faveur d'une réduction d'un facteur 5 des limites de dose admissible .

.....

CONSIDERATIONS SUR LA QUESTION DE LA PREUVE DE NOCIVITE

Nous commencerons notre approche concernant la nocivité de certains agents en notant les amères leçons apprises à partir de l'histoire de l'amiante, du cancer lié à la graisse des métiers à filer, des amines aromatiques ...etc... où l'approche traditionnelle qui consiste à

donner le bénéfice du doute scientifique, quel qu'il soit, aux produits inanimés plutôt qu'aux personnes, a eu pour résultat des milliers de morts inutiles et des coûts très élevés pour la communauté à cause des morts et des invalides dus aux déchets nocifs et aux contrôles industriels non prévus initialement.. L'approche traditionnelle suppose que les produits sont inoffensifs jusqu'à ce qu'ils soient prouvés nocifs pour l'homme d'une façon irrréfutable, par une accumulation de preuves tellement abondantes et dans tellement de cas de figuresqu'il est hors de doute que le haut niveau de preuve requis est atteint. Au moment où ces critères sont atteints, non seulement il y a déjà beaucoup trop de morts, mais il y a également un véritable "pipeline" qui acheminera les futures victimes, ceux qui ont été exposés avant que n'intervienne une protection adéquate. La période de latence (de 20 à 40 ans) pour les effets chroniques de ces agents reconnus nocifs signifie que beaucoup de mort futures sont inévitables, même après que l'agent nocif ait été banni ou maitrisé d'une façon adéquate. Le cas de l'amiante en est la meilleure illustration, avec un taux de morts qui est couramment de 2000 personnes par an au Royaume Uni, avec probablement 50.000 de plus dans les trente ans à venir [2], que nous interdisions où non l'amiante.

Il est clair qu'une autre approche de la question de la preuve de nocivité est nécessaire et depuis 1980 nous plaidons en faveur de **l'approche syndicale** qui donne le bénéfice du doute aux personnes plutôt qu'aux agents inanimés, sur le lieu de travail. Nous supposons au départ que les agents seront probablemement plus souvent nocifs qu'inoffensifs; ensuite nous accordons davantage de poids aux preuves fournies par les similitudes structurelles, par les études de laboratoires (par exemple les tests sur les animaux, tests de mutagénèse) et par l'expérience des travailleurs plutôt qu'à l'épidémiologie négative*.

* Richard Peto, témoignant au Congrés US, illustra la faïblesse de la plupart des études humaines qui ne montrent pas de risque pour la santé, en disant, au cours de la discussion sur les limites de l'épidémiologie négative :
"si en théorie vous avez observé 50.000 personnes ayant environ la quarantaine et que vous puissiez bien établir la distinction entre celles qui sont exposées et celles qui ne le sont pas, alors vous pouvez commencer à emettre des conclusions qui ne s'avèreront pas être des "faux négatifs".

Une indication de la façon dont ces deux approches fonctionnent dans la pratique quotidienne est donnée par leur application à deux problèmes actuels, le problème des fumeurs passifs - les non fumeurs au milieu des gens qui fument - et le problème de l'isolation par de la laine minérale. Si l'approche traditionnelle est appliquée aucun des deux agents impliqués ne peut être considéré comme carcinogène mais si l'approche syndicale est adoptée, alors les deux agents sont des carcinogènes du poumon.

L'application de l'approche syndicale aux rayonnements ionisants justifie la réduction des doses maximales admissibles d'un facteur 5 comme cela va être démontré ci-après. La façon habituelle de procéder pour déterminer les effets sur la santé puis les données concernant l'exposition communément rencontrée. Ensuite on combine les deux dans un processus essentiellement politique, afin de déterminer l'acceptabilité des risques qui découlent d'un choix particulier des limites d'exposition* qui ne soit pas trop lourd pour l'industrie.

LES ARGUMENTS EN FAVEUR D' UNE REDUCTION DES LIMITES D'EXPOSITION AU RAYONNEMENT

Nous nous appuyons sur onze arguments différents, chacun d'eux justifiant séparément la réduction d'un facteur 2 à 5 des limites de doses.

1 / Incertitude

Une conclusion importante de tous les comptes rendus scientifiques concernant le risque des faibles doses de rayonnement est

* Par exemple le risque lié à l'amiante pour la limite d'exposition utilisée au Royaume Uni qui est de 500 000 fibres/m3 (0,5f/ml) est de 2-3 morts par cancer pour 100 personnes exposées à cette limite leur vie durant (40 ans). Ce risque trop élevé est inacceptable mais il fut nécessaire pour éviter la suppression de l'"extrémité sale" du processus de production d'amiante (textiles). Le syndicat GMB n'accepte pas comme valable de permettre à l'"extémité sale" d'un groupe exposé de fixer les limites d'exposition car ceci impose des risques très élevés

que les estimations du risque "sont fondées sur des données incomplètes et un grand degré d'incertitude, en particulier dans le domaine des faibles doses" [3]. Aussi doit-on pêcher par excès de prudence en choisissant les limites d'exposition.

2 / Les estimations du risque s'étendent sur un large intervalle de valeurs.

A la question de savoir quelle est l'estimation du risque toutes les synthèses importantes, exceptée celle de la CIPR, donnent un large éventail de réponses. L'incertiude sur le risque requiert un intervalle d'estimations différentes : la prudence et la circonspection exigent de choisir les valeurs correspondant à la marge supérieure de l'intervalle si l'on veut que les gens bénéficient du doute scientifique.

Table 1

Estimations de différents Comités Scientifiques	Nombre de morts par cancer (pour 1 million de personnes ayant reçu 1 rem)
BEIR (1972)	115 - 621
UNSCEAR (1977)	75 - 175
CIPR 26 (1977)	125
BEIR III (1980)	158 - 501

3 / Des experts contestent les estimations du risque de la CIPR

Par rapport à la période 1930 - 1975 qui correspond à un large consensus sur les risques dus au rayonnement, des experts contestent désormais les estimations de la CIPR. Ceci s'est produit parce que la marge d'incertitude a augmenté à la suite de nouvelles données et de nouvelles interprétations. Nombreux sont les experts qui sont en désaccord avec les recommandations et les règles émises par la CIPR 26 en 1977 et qui sont à la base des doses admissibles d'exposition. Par exemple le professeur Radford, ancien Président du Comité BEIR III

recommande une réduction [4] d'un facteur 10 basée sur les dernières données japonaises des bombes A; Stewart, Mancuso et Kneale [5;6] recommandent une réduction d'un facteur 10 à 15 sur la base des données sur les travailleurs de l'usine américaine de retraitement de Hanford (USA); le Professeur Morgan [7], ancien membre de la CIPR, recommande une division par 2 des limites de dose; le professeur Rotblat recommande une réduction d'un facteur 5 sur la base d'une réinterprétation des données sur les survivants japonais des bombes; de nombreux autres experts considèrent que la CIPR a sérieusement sous-estimé les risques. Nous sommes d'accord avec la majeure partie de ce que disent ces experts et considérons qu'une réduction d'un facteur 10 serait un compromis raisonnable entre ces différentes opinions qui, dans les études que nous avons citées, ne tiennent pas compte de la révision de la dosimétrie japonaise qui sera décrite plus loin.

4 / L'induction de cancer suit probablement le modèle de risque relatif plutôt qu'un modèle de risque absolu

La CIPR a choisi d'utiliser le modèle du Risque Absolu (RA) en 1977 mais depuis, les derniers résultats de l'étude sur les survivants japonais et d'autes études suggèrent que le modèle du Risque Relatif (RR) représente probablement mieux le risque d'induction de cancer. Comme, avec le modèle RR , le risque augmente proportionnellement au taux naturel d'incidence de cancer, le risque total de cancer au cours de la vie est plus grand que celui prédit par le modèle de Risque Absolu où le risque est constant, indépendant du taux naturel d'incidence [NdT : et donc indépendant de l'âge]. L'évaluation du risque sur une vie, à partir de l'âge de vingt ans est de 1,45 à 2 fois plus élevé avec le modèle du risque relatif.

5 / Les nouvelles données sur les survivants des bombes A

La révision de l'estimation des doses reçues par les japonais à Hiroshima et Nagasaki depuis la publication de la CIPR 26 conduit à un accroissement du risque d'un facteur 1,5 à 2. De plus les dernières

statistiques de cancer chez les victimes des bombes et en particulier les chiffres concernant la morbidité, suggèrent des risques beaucoup plus élevé que ceux de la CIPR comme le Professeur Radford le montre au chapitre 7 de ce livre*.

6 / Les données autres que celles des survivants des bombes pourraient conduire à des risques plus élevés.

Depuis l'étude d'Oxford du Dr Alice Stewart sur le cancer des enfants dont les mères avaient été radiographiées pendant la grossesse, il y a eu ceux qui ont contesté la validité de l'utilisation des données japonaises des bombes comme principale source d'estimation des effets à long terme des faibles doses de rayonnement chez les travailleurs. Une des critiques fait ressortir combien l'assemblage des données concernant la population de l'étude japonaise a été tardif (1950). Il est suggéré que l'absence parmi le groupe étudié de ceux qui ont survécu à l'explosion initiale mais ont succombé aux maladies et traumas les premières années après le bombardement rend cette population non représentative [10]. D'autre ont critiqué le groupe de contrôle car il a aussi reçu quelque irradiation [11]. Les estimations du risque compilées à partir des études autres que celles des survivants par Lindop et Charles [12] en 1981 varient de 100 à 440 morts par million d'homme x rem au lieu de 125 pour la CIPR.

Depuis cette compilation les premières études à grande échelle concernant les travailleurs du Royaume Uni ont été publiées, mais les nombres de travailleurs impliqués sont encore trop petits pour donner des résultats fiables. Cependant si l'étude de l'énergie atomique [13] (UK) concernait 4 fois plus de travailleurs avec de résultats similaires, cela signifierait que la CIPR sous-estime le risque d'un facteur allant jusqu'à 10. L'étude BNFL est encore pus réduite, elle permet des conclusions qui vont de : il n'y a pas de risque dû aux faibles doses de rayonnement, à : la CIPR sous-estime le risque d'un facteur 10.

Note du traducteur

* il s'agit de l'article du Professeur Radford que nous avons traduit pour cette série d'articles.

7 / Les estimations du risque cancérigène devraient inclure la morbidité, pas seulement la mortalité.

Les estimations du risque cancérigène dans le système de limitation des doses sont basées sur les morts par cancer. De nombreux cancers radioinduits ne sont pas toujours mortels, en particulier ceux de la peau, du sein et de la thyroïde. Cependant devenir cancéreux n'est pas une petite affaire, cela peut causer un tort personnel et social évident. Les limitations de doses devraient donc refléter le risque d'incidence de cancer, plutôt que celui plus faible, de mortalité par cancer. L'article de Lindop cité précédemment montre que les données autres que celles provenant des survivants des bombes sont compatibles avec un facteur de risque d'incidence de cancer 5 fois plus élevé que les chiffres de la CIPR. Par exemple la CIPR donne pour le cancer de la thyroïde un taux de mortalité 20 fois plus faible que celui du risque d'incidence.
Le syndicat n'accepte pas que le fait d'avoir un cancer de la thyroïde, ou tout autre cancer qu'on peut traiter, soit exclu de l'évaluation du risque professionnel du travail sous rayonnement.

8 / Les limites d'exposition devraient protéger la minorité et pas la "moyenne"

Les limites officielles sont basées sur un individu "moyen" et on ne tient pas compte des différences biologiques des travailleurs, à l'exception des effets tératogènes, même s'il y a des preuves considérables concernant de telles différences. Par exemple :

a. l'expérimentation animale montre qu'il existe des différences marquées entre espèces vis à vis du rayonnement et même entre les lignées à l'intérieur d'une même espèce; la variabilité biologique humaine est beaucoup plus grande que celle des animaux utillisés pour l'expérimentation.

b. les femmes courent un risque de cancer dû au rayonnement plus élevé que les hommes en plus du risque additionnel des effets tératogènes sur les foetus. Le Professeur Radford estime cette différence de risque de cancer entre les deux sexes à un facteur 3.

c. les jeunes travailleurs courent plus de risques que les plus agés.

d. 5 à 10 % de la population ont des déficiences dans les mécanismes de réparation de l'ADN qui les rendent particulièrement sensibles aux dommages créés par le rayonnement.

Pour illustrer cette variabilité biologique vis à vis du cancer, citons le cas d'un travailleur ayant un cancer qui a été indemnisé à la suite des preuves fournies mais qui n'avait pas reçu la dose maximale admissible du travailleur "moyen".
Si nous devons protéger les sous-groupes particulièrement sensibles au sein d'une population humaine, et qui existent sans aucun doute, les limites de dose doivent être abaissées du niveau convenant à un travailleur "moyen" à une fraction de ce niveau de dose. Les limites pour des effets du rayonnement tels que les cataractes et les dermites ont été fixées pour protéger les sous-groupes les plus sensibles , alors pourquoi pas les cancers ? C'est de cette manière que sont fixées les doses limites pour d'autres agents dangereux. Un facteur arbitraire de réduction de 2 donnerait au moins quelque protection aux sous-groupes sensibles, en particulier à ceux qui reçoivent une irradiation naturelle supérieure à la moyenne ou bien une irradiation médicale, ces irradiations n'étant pas incluses dans les estimations du risque.

9 / Les limites de la CIPR imposent des risques inacceptables

Le risque en excés qui est de 2 à 3 % suite à une exposition la vie durant à la dose maximum corps entier de 5 rem (50 mSv) est trop élevé. Bien que seuls un petit nombre de travailleurs approchent de cette dose annuelle cela renforce plutôt qu'affaiblit l'argumentation qu'il faut réduire les limites de dose à des niveaux plus acceptables c'est à dire plus proches du risque pour la vie durant de 1 pour 10 000.

10 / Une réduction des doses limites diminue les expositions d'une façon beaucoup plus efficace que le principe ALARA

Bien que les employeurs aient l'obligation de réduire les expositions "à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement possible de

le faire" (principe ALARA, As Low As Reasonably Achievable), Ceci est très difficle à réaliser ou à imposer dans la pratique s'il n'y a pas des nombres que les ingénieurs ou les personnes chargées de la physique médicale (radioprotection) puissent avoir comme but, comme par exemple le dixième ou les trois dixièmes des limites de doses utilisées en radioprotection. Note expérience sur le rayonnement et d'autres agents dangereux qui sont régis par le devoir de respecter le principe "aussi bas que raisonnablement praticable" nous indique le moyen le plus efficace de réduire l'exposition au rayonnemnt est d'avoir des limites plus basses.

11/ Les victimes du cancer ont droit à une juste compensation.

Les pionniers de l'industrie nucléaire et des mines souterraines autres que celles du charbon, qui sont aujourd'hui les victimes du cancer suite à des expositions aux rayonnements dans le passé, devraient obtenir que la probabilité que leur cancer radioinduit soit estimée à partir des données correspondant aux limites de dose les plus faibles plutôt qu'à partir de données de la CIPR. Les procédures habituelles d'évaluation peuvent être dominées par des experts dont le raisonnement consiste à soutenir que des doses d'exposition inférieures à la dose maximale admissible de la CIPR ne donnent pas lieu à indemnisation. Les juges et autres sont enclins à accepter leurs arguments même si les normes de radioprotection ne tiennent pas compte du risque inhérent à chaque individu particulier qui peut être à l'extrémité du spectre biologique de sensibilité vis à vis du rayonnement. Par exemple nous avons des cas de cancer du poumon causé par le radon dans les mines souterraines qui ont été déboutés parce que les doses n'ont pas excédé les doses maximales admissibles, en dépit des preuves récentes suggérant des risques très élevés pour les normes utilisées habituellement.

Pris ensemble, les arguments énumérés ci-dessus justifient plus qu'assez une réduction d'un facteur 5 des limites de dose. Voyons maintenant si une telle réduction causerait de grandes difficultés à l'industrie du Royaume Uni

Expositions habituelles des travailleurs sous rayonnement aux Royaume Uni.

Il y a environ 300 000 travailleurs exposés professionnellement aux radiations au Royaume Uni mais seulement environ 139 000 sont contrôlés systématiquement pour le rayonnement. Comme le montre la table 2 leur exposition moyenne annuelle est relativement basse comparée à celle des travailleurs du cycle du combustible nucléaire d'environ 2,3 mSv (230 mrem) en moyenne. Cependant quelques groupes de travailleurs reçoivent des doses nettement plus élevées particulièrement dans le retraitement du combustible et dans les mines autres que celles du charbon (respectivement 7 et 8,9 mSv en moyenne par an). Le pourcentage de travailleurs au-dessus de la nouvelle valeur de 15 mSv (1,5 rem) considérée comme "la dose d'investigation" ("investigation level") d'après la règlementation sur les rayonnements ionisants de 1986 est très faible comme le montre la figure 2 bien que le pourcentage de dose collective au-dessus de 15 mSv (1,5 rem) soit une meilleure expression de l'effort requis pour réduire les expositions au-dessous de la limite que nous réclamons de 10 mSv (1 rem).

Il est clair, d'après le tableau 2, qu'une réduction d'un facteur 5 des limites de doses annuelles de 5 rem à 1 rem (50mSv à 10 mSv) ne causerait que peu de problèmes à la plupart des employeurs du Royaume Uni, exceptés ceux du retraitement et des mines souterraines non charbonnières qui pourraient se voir accorder un laps de temps plus long pour appliquer la nouvelle limite.

Les nouvelles limites devraient être réalisées grâce à des techniques de contrôle et de meilleures méthodes de travail plutôt que par un étalement des doses parmi plus de travailleurs. Une autre de nos recommandations de limite de dose concerne par exemple les jeunes travailleurs agés de moins de 35 ans qui devraient avoir une limite de dose nettement plus basse ; la dose cumulée sur une vie professionnelle ne devrait pas dépasser 450 mSv (45 rem) ; l'établissement d'une limite à la dose collective pour chaque installation aiderait à maintenir les expositions à des niveaux plus acceptables.

TABLE 2 EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES POUR L'ANNEE 1984/1985			
Nature du travail	Nombre de travailleurs	Dose moyenne annuelle (mSv)	% de travailleurs au-dessus d'une dose individuelle de 15 mSv (1,5rem)
Cycle du combustible nucléaire			
fabrication du comb.	2819	1,3	<1
enrichissement du comb.	1175	0,4	<1
retraitement du comb.	5362	7	12
centrales nucléaires	20943	1,4	<1
recherche	9699	2,8	4
Ministère de la Défense	15000 environ	2,4	pas d'information disponible
Industrie			
radiographie	7000	1,4	1 10 cas au-dessus de 50 mSv
travailleurs sur tritium	328	3,4	6
"Amersham International"	1260	3,8	7
autres industries	19000	0,4	<1
Médecine			
(globalement)	39000	0,7	<1
Mines			
charbon	115000	1,2	0
autres	1630	8,9	1
Total			
contrôlés pour le rayonnement	139000	1,1	1
exposés au rayonnement	296000	1,2	-

Achevé d'imprimer
sur les presses de
Sorépi-Domergue
70, rue des Mourettes - Valence
Tél. 75.44.49.99
en janvier 1988

© COPYRIGHTT 1988

Le GSIEN
(Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Energie Nucléaire)

a été créé en 1975 à la suite d'un appel signé par 400 scientifiques protestant contre l'absence d'un débat démocratique sur les problèmes posés par l'option électronucléaire prise par le gouvernement.
Le GSIEN depuis cette date participe à la diffusion d'informations scientifiques sur les problèmes de l'énergie nucléaire. Il publie régulièrement une revue , **La Gazette Nuclaire**, (abonnement annuel 100 F).

GSIEN
2, rue François Villon
91400 ORSAY

La CRII-RAD
(Commission Régionale d'Information sur la Radioactivité)

est une association loi 1901 créée en mai 87, après la catastrophe de Tchernobyl, en réponse au manque d'information officielle .
Elle a mis en place un laboratoire d'analyse de radioactivité qui permet à tout citoyen de faire effectuer un contrôle indépendant des services officiels.
Elle édite une revue bimestrielle, **le CRI du RAD**, qui publie des informations générales sur la radioactivité, l'environnement et la santé ainsi que toutes les analyses réalisées dans son laboratoire (abonnement pour un an, 6 numéros , 100F).

CRII-RAD
8, rue Louise Gémard
26200 MONTELIMAR