

# Pour en finir avec la radiophobie



Nous publions l'article de Jerry Cuttler sur les effets des faibles doses de radioactivité à un moment où notre pays est de nouveau submergé par une vague de désinformation sur les conséquences de l'accident de Tchernobyl. La situation est ubuesque : l'ensemble de la communauté scientifique mondiale s'est réunie pour dresser le bilan de Tchernobyl et elle est parvenue à un document très complet publié par l'UNSCEAR l'année dernière. Ce document fait état des certitudes, des hypothèses envisageables et de celles qui ne le sont pas. Parmi ces dernières, on ne constate *aucune* augmentation des malformations à la naissance dans la région de Tchernobyl. De même, on ne constate aucune augmentation des cancers de la thyroïde en dehors de l'ex-Union soviétique (et encore, pas chez les adultes), y compris dans des pays assez proches, comme la Pologne ou la Roumanie.

Et pourtant, aujourd'hui, on tente de reproduire une affaire de sang contaminé à partir de rien. Des malades du cancer de la thyroïde – maladie dont la prévalence augmente régulièrement dans tous les pays occidentaux depuis 1970 – portent plainte contre l'Etat français, en estimant que le passage du nuage radioactif de Tchernobyl au-dessus de notre pays est à l'origine de leur cancer. Leur plainte est appuyée par l'ensemble des médias français, qui ont rarement été aussi unanimes dans leur négation de la vérité. Nous avons montré (voir *Fusion* n°64) dans quelle mesure le soi-disant « mensonge de Tchernobyl » a avant tout été un mensonge médiatique.

Mais rien n'y fait. Malgré les protestations de la communauté médicale, la désinformation continue. Marc Teissier, le président de France Télévision, a déjà été condamné à deux reprises pour diffamation contre le professeur Pellerin. A chaque fois, il a affirmé sa totale solidarité avec Noël Mamère, également condamné dans cette affaire. Les deux

chaînes qu'il dirige, France 2 et France 3, continuent à diffuser des documentaires sensationnalistes sur Tchernobyl, qui ne donnent presque jamais la parole aux scientifiques compétents et qui reposent essentiellement sur des interviews avec des « experts indépendants » autoproclamés. Lorsque la communauté scientifique s'en émeut, lorsque sept sociétés savantes lui écrivent pour protester \*, il les traite avec le mépris d'un Goebbels, dont il semble avoir adopté la devise : un mensonge cent fois répété devient la vérité. Il se comporte comme un ministre de l'Information des années 50, renvoyant avec arrogance les journalistes venus l'interroger sur la torture en Algérie.

Il faut bien souligner que l'on a atteint ici une étape supplémentaire de la désinformation. Avant, elle consistait à mettre face à face un scientifique et un militant, dont le seul gage de compétence était la « sincérité » supposée, en laissant croire que la parole de l'un valait celle de l'autre. Aujourd'hui, on procède en bâillant littéralement les représentants de la science, en ne laissant plus parler que les seuls militants antinucléaires. C'est parce qu'il y a un tel déséquilibre des paroles que nous avons choisi de publier dans son intégralité le communiqué de l'Académie de médecine au sujet des faibles doses et des conséquences de Tchernobyl. C'est elle qui utilise le terme de désinformation, chose hautement inhabituelle dans son discours généralement plus policé. Il est à souligner que ce communiqué a été adopté en séance plénière à l'unanimité.

**Emmanuel Grenier**

\* Notamment la Société française de physique, la Société française de biophysique, la Société française de médecine nucléaire, la Société française de Radiologie et le Centre Antoine Bécclère pour les relations internationales en radiobiologie.

# Les avantages pour la santé des rayonnements ionisants

**L**a plupart des images négatives qui se sont développées au sujet de l'énergie nucléaire, entre autres depuis l'accident de Three Mile Island en 1979, sont liées aux perceptions des effets néfastes pour la santé, en particulier le risque que toute exposition aux rayonnements ionisants puisse provoquer des cancers et des dommages génétiques.<sup>1</sup> L'ironie est que nous sommes exposés en permanence à des rayonnements de sources naturelles.

Des expositions à des sources d'origine humaine augmentent-elles de façon significative l'incidence normale de malformations congénitales et de cancers ? Est-il vrai, comme certains le prétendent, que de faibles doses de rayonnement ont un effet bénéfique pour la santé ? Les réponses à ces questions sont importantes car l'humanité fait face à de graves problèmes environnementaux, énergétiques et médicaux, qui pèsent sur notre qualité de vie. Les technologies nucléaires peuvent fournir des solutions réalistes, mais la peur que fait naître l'exposition à tout rayonnement d'origine humaine constitue un obstacle majeur

## JERRY CUTTLER

à leur application.

Dans le secteur nucléaire, nous parlons de risques relatifs mais les gens se font leur propre opinion sur l'acceptabilité des divers risques, sans aucun égard pour nos comparaisons. Il serait possible de changer petit à petit l'opinion publique en ce qui concerne la technologie nucléaire si, au lieu de risques insignifiants, on pouvait leur transmettre une image différente et plus positive des rayonnements en leur parlant davantage des effets bénéfiques significatifs pour la santé. Le problème réside dans le fait que des scientifiques influents refusent avec véhémence de reconnaître les véritables bénéfices et de négliger les risques insignifiants. Tout cela a mené à une vive controverse ces dix dernières années et de nombreuses organisations scientifiques ont fait pression pour changer la politique de réglementation.

Les faits, comme nous allons le montrer, sont assez clairs. Par contre, nous ne savons pas combien de

temps il faudra pour mettre fin à cette controverse.

## Carcinogénèse par les radiations et le modèle linéaire sans seuil

Le physicien allemand Wilhelm Röntgen a découvert les rayons X en 1895, et le physicien français Henri Becquerel a découvert la radioactivité en 1896. Depuis lors, on a effectué de nombreuses recherches sur les effets directs et secondaires des rayonnements ionisants, ce qui a permis de découvrir beaucoup d'applications très importantes. On a presque immédiatement identifié les effets néfastes pour la santé consécutifs à de fortes expositions et, au fur et à mesure que des informations plus précises étaient disponibles, on a établi et mis à jour des conseils de protection contre les rayonnements.

Les toutes premières recommandations visaient à éviter les brûlures et les effets tardifs des rayonnements intenses à courte durée de vie. Pour cela, il a fallu définir une limite sans danger pour les expositions (par exemple, ~0,2 rads par jour en 1934 et 0,3 rads par semaine en 1951) basée sur le concept de seuil (voir **encadré** ci-contre). En 1955, ce concept de seuil a été rejeté par la Com-

## Comment mesure-t-on la radiation ?

La « dose » de rayonnement, ou « l'exposition », est une mesure de l'énergie absorbée par unité de masse. Il y a deux types d'unités utilisées, l'ancienne ayant été renommée.

Pour des dommages équivalents sur des tissus, provenant de divers types de rayonnement, le rem a été défini comme le « *rad equivalent man* » (rem), c'est-à-dire le rad multiplié à un facteur de qualité. Pour les radiations gamma et bêta, le facteur de qualité pour les énergies les plus importantes est 1. Dans ces cas, le « rad » et le « rem » sont donc égaux. Pour les rayons alpha et les neutrons, le facteur de qualité est plus grand, indiquant qu'il y a plus de dommages pour la même quantité d'énergie absorbée.

Nouvelle unité	ancienne unité	équivalent utilisé ici
1 gray (Gy) =	100 rad =	100 cGy (centigray)
1 sievert (Sv) =	100 rem =	100 cSv (centisievert)

*Jerry Cuttler est un ingénieur nucléaire, qui travaille comme consultant en Ontario (Canada). Il est le président de la Société nucléaire canadienne. Cet article a été adapté à partir d'un discours qu'il prononça à la conférence annuelle de la Société nucléaire canadienne à Toronto en juin 2001.*

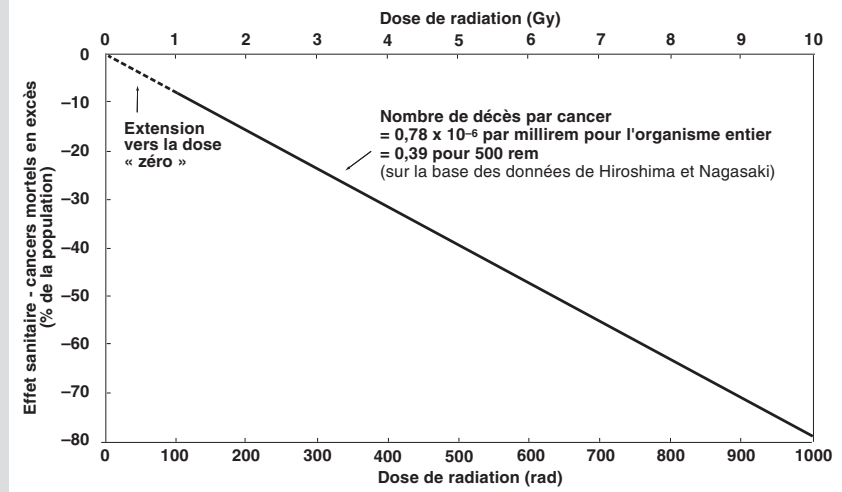
mission internationale de protection radiologique (CIPR), le remplaçant par un concept de risques de cancer et de risques génétiques, maintenus faibles en comparaison à d'autres risques.

« Comme aucun niveau de rayonnement supérieur au rayonnement naturel ne peut être considéré comme absolument "sans danger", le problème est de choisir un niveau pratique qui, à la lumière des connaissances actuelles, entraîne des risques négligeables. »<sup>2</sup> On a procédé à ce changement de philosophie suite à de nouvelles informations biologiques : des preuves épidémiologiques d'excès de malignités cancéreuses chez des radiologues et l'indication de cas de leucémie en excès parmi les survivants des bombes atomiques de Hiroshima et Nagasaki – des « effets stochastiques », dont la probabilité d'apparition, et non la gravité, était supposée proportionnelle à la dose.<sup>2</sup>

C'est là que nous trouvons l'origine du modèle linéaire sans seuil de carcinogenèse par les radiations. Il repose sur l'hypothèse selon laquelle un seul impact de rayonnement ionisant sur une cellule cause une altération qui pourrait se développer en une mutation, qui pourrait éventuellement devenir la première cellule cancéreuse d'une tumeur et qui pourrait ensuite causer le décès. La probabilité de cette transformation – d'une cellule normale à la mort de l'organisme – est supposée proportionnelle à la dose de rayonnement.

Des données statistiques significatives sur les décès par cancer en excès, consécutives à des expositions à des fortes doses de rayonnement, sont corrélées par une ligne droite, qui est ensuite étendue vers la dose nulle. Cette ligne droite traverse toute la région des faibles doses où il n'y avait aucune donnée statistique significative pour les êtres humains.

Le modèle linéaire sans seuil pour une exposition aiguë (courte durée) est représenté sur la **figure 1**. Ce modèle est en général utilisé pour calculer le nombre en excès de décès par cancer suite à des expositions à de faibles doses d'une source (d'origine humaine) de rayonnement. Un facteur de réduction de risque, de l'ordre de 2 à 10, peut-être appliqué à la dose complète d'une exposition



**Figure 1. Le modèle linéaire sans seuil pour les cancers causés par les radiations. Pour déterminer le risque de décès par cancer résultant de la dose de radiation, le modèle linéaire prend le taux connu de décès de cancer à forte dose, et l'extrapole vers la dose nulle (partie en haut à gauche sur le graphique). On procède de cette façon en dépit du fait qu'il n'y a aucune donnée qui montre un accroissement du risque de cancer dans la zone des faibles doses.**

Source : Cuttler (réf. 22).

chronique (longue durée) à une faible dose.

On évalue l'augmentation de la dose moyenne d'origine humaine (au-delà du rayonnement naturel) reçue par la population, et cette dose moyenne est multipliée par le facteur de la ligne du modèle linéaire sans seuil pour prédire l'augmentation dans la fraction normale de cette population qui va mourir de cancer au lieu d'une autre cause. (Au Canada, c'est environ 28 %.) L'exposition supplémentaire reçue par une personne d'une source d'origine humaine est multipliée par ce facteur pour déterminer son risque accru de mourir de cancer

### Les effets non linéaires et les influences non scientifiques

Il est vraiment fascinant de passer en revue les toutes premières recherches menées pour déterminer les effets des rayonnements sur les organismes vivants. Des milliers de ces études ont révélé différents effets bénéfiques pour la santé consécutifs à l'exposition à de faibles doses. De nombreuses personnes se sont mises à consommer de petites quantités de

solutions au radium, vendues dans des bouteilles comme élixir. Cette affaire a défrayé la chronique car après plusieurs cas d'empoisonnement au radium dus à une surconsommation, cette pratique a été arrêtée.

Une étude épidémiologique bien connue sur les peintres de cadran au radium menée par R.D. Evans a permis d'identifier une charge de radium maximale pour le corps (0,1 Ci), incluant un facteur de sécurité de 10 à 100, et un seuil (durée de vie) des doses reçues par le squelette (environ 1 000 cGy) en dessous duquel aucun excès de cancers ou d'autres effets néfastes ne sont apparus à long terme.<sup>3-4</sup>

Pourquoi la quantité considérable de données scientifiques sur les effets bénéfiques et les seuils pour les effets néfastes ont-ils été ignorés lorsqu'a été conçu le modèle linéaire sans seuil, et ignoré de nouveau lorsque d'autres recherches ont été menées ?

Pour connaître la réponse, nous devons considérer l'environnement politique et social dans lequel les nouvelles recommandations sur la protection radiologique ont été formulées. A cette époque, les scientifiques se sentaient coupables du rôle qu'ils avaient joué dans le développement et l'utilisation

de la bombe atomique pendant la guerre. La création d'énormes arsenaux d'armes nucléaires toujours plus puissantes dans de nombreux pays soulevaient des problèmes éthiques considérables et faisaient naître des craintes quant à leur utilisation potentielle.

Les scientifiques réalisaient qu'ils ne pouvaient plus « remettre le génie dans la bouteille », aussi commencèrent-ils à faire campagne en faveur du désarmement nucléaire, s'opposant ainsi à tout développement, essais et production ultérieurs de la bombe A. On commença alors à exprimer certaines inquiétudes concernant les expositions à de très faibles quantités de retombées radioactives. Jusqu'alors, les effets bénéfiques pour la santé et les seuils n'avaient pas été rigoureusement établis d'un point de vue scientifique.

Toutefois, au fil des cinquante dernières années, de nombreux programmes de recherche ont été entrepris pour étudier l'impact des effets biologiques néfastes, mesurés à fortes doses et extrapolés linéairement vers des doses nulles. Durant les trente dernières années, un grand nombre d'études sur les effets bénéfiques pour la santé ont été ignorées voire supprimées.<sup>5</sup>

## Les survivants des bombardements atomiques

La preuve scientifique principale sur laquelle repose le modèle linéaire sans seuil est l'Etude Vie Entière, allant de 1950 à 2020, sur la mortalité par cancer parmi les survivants d'Hiroshima et Nagasaki. Les deux bombes atomiques A, lancées en août 1945, ont tué entre 150 000 et 200 000 personnes sur une population totale de 429 000 personnes.<sup>6-7</sup> La cohorte issue de l'Etude Vie Entière de 1950 à 2020 concerne 86 572 personnes, c'est-à-dire environ la moitié des survivants qui se trouvaient à l'intérieur d'une zone d'un rayon de 2,5 km autour de l'impact des bombes.<sup>8</sup>

Etant donné toutes les inquiétudes exprimées ces cinquante dernières années quant aux risques de cancers mortels dus à des radiations nucléaires, on pourrait s'imaginer qu'il y a eu un important excès de décès par le cancer chez ces survivants. J'ai récemment interrogé plusieurs personnes à ce sujet et celles-ci pensaient qu'il s'agirait d'un excès de 20 à 50 % de décès par cancer chez les survivants.

Regardons les données récentes dans le **Tableau 1**.<sup>8</sup> Il est très surprenant de noter un excès de seulement 334 décès, quarante ans après l'événement, parmi ce groupe très important. Or, 36 459 personnes se trouvaient suffisamment loin pour n'avoir reçu aucune exposition significative aux radiations, aussi devrions-nous considérer la fraction  $334 / 50\ 113 = \sim 0,7\%$ , ou  $334 / 7\ 578 = 4,4\%$  comme étant le risque attribuable. Toutefois, les auteurs de l'Etude Vie Entière de 1950 à 2020 ont préféré le rapport  $[334 - (-42)] / (7\ 578 - 3\ 013) = 8\%$ . De ce groupe, 56 % étaient en vie en 1991 et 38 092 étaient morts. Aussi pouvons-nous conclure que  $\sim 1\%$  d'entre eux sont morts d'un cancer causé par les radiations.

Les survivants qui avaient en dessous de 20 ans à l'époque des bombardements constituent 40 % de la population. Cependant, ils constituent une partie beaucoup plus petite des morts car les cancers arrivent en général plus tard dans la vie. Les résultats définitifs dépendront énormément de ce qui arrivera à ces survivants quand ils atteindront 50 ans, une période où ils seront susceptibles de développer un cancer.

Ceux qui avaient plus de 50 ans à

**Tableau 1. Chiffres des décès attendus et observés de tumeurs solides chez les survivants des bombes A (1950-1990)**

Dose (Sv)	Dose (rem)	Nbre de sujets	Décès constatés (1)	Décès normaux attendus (2)	Décès en excès [(1)-(2)]	Incertitude statistique * $\sqrt{(1)+(2)}$
0	0	36 459	3 013	3 055	-42	78
0,005-0,1	0,5-10	32 849	2 795	2 710	85	74
0,1-0,2	10-20	5 467	504	486	18	31
0,2-0,5	20-50	6 308	632	555	77	34
0,5-1,0	50-100	3 202	336	263	73	24
1,0-2,0	100-200	1 608	215	131	84	19
> 2,0	> 200	679	83	44	39	11
<b>Totaux :</b>		<b>86 572</b>	<b>7 578</b>	<b>7 244</b>	<b>334</b>	

Parmi les survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki, on ne compte que 334 décès par cancer en excès par rapport au nombre normal de cancers dans la population. Il n'y a pas de décès significatifs en excès en dessous d'une dose de 1 Sv (100 rem).

Source : Pierce *et al.* (réf 8).

\* mon estimation personnelle (Cutler)



l'époque des bombardements n'ont pas vécu assez longtemps pour permettre de tirer des conclusions en ce qui concerne les cas de cancer provoqués par les radiations, et cela à cause de la période de latence d'environ vingt ans.

Les leucémies furent les premières pathologies malignes à apparaître. Vers 1985, on a pu répertorier presque toutes les leucémies causées par les rayonnements pouvant être diagnostiquées ; le nombre de décès en excès que l'on a trouvé était de 87.

Selon le spécialiste du nucléaire Ralph Lapp, il y avait environ 300 000 survivants en 1950 lorsque l'Etude Vie Entière fut entreprise. Il estime qu'en 2020, à peu près 800 personnes seront mortes à cause des radiations de la bombe A, soit environ 0,3 % de la population d'Hiroshima et de Nagasaki. Etant donné qu'un survivant sur quatre (soit 75 000) mourra de cancer, un décès sur cent sera provoqué par les radiations de la bombe A. <sup>6</sup>

Une évaluation approximative des incertitudes statistiques (déviations standards) des excès de mortalité dans le tableau, indique qu'elles sont assez importantes quand la dose est inférieure à 0,5 Sv (50 rem). De plus, il existe une controverse ayant trait au rejet par l'Etude Vie Entière du type de dosimétrie T65D en faveur

de la dosimétrie DS86, laquelle sous-estime la contribution des neutrons et mène à une évaluation bien plus importante du risque. Cela suggère qu'il n'y a pas, de façon significative, de morts en excès en dessous d'une dose de 1 Sv (100 rem)

Il n'y a pas non plus de mention d'importants facteurs concomitants pour l'incidence de cancers, tels que la grave malnutrition endémique, la pollution provoquée par les charges explosives des bombes A, le stress psychologique dû aux brûlures, aux maladies et à la perte de membres de la famille, d'amis et de maison, la perte d'assistance médicale, etc.

Ainsi, le modèle linéaire sans seuil ne repose sur aucune preuve statistique significative. <sup>9</sup> Il doit être aussi mentionné qu'il n'y a pas eu d'augmentation détectable du nombre de mutations chez les enfants et les petits-enfants des survivants de la bombe A.

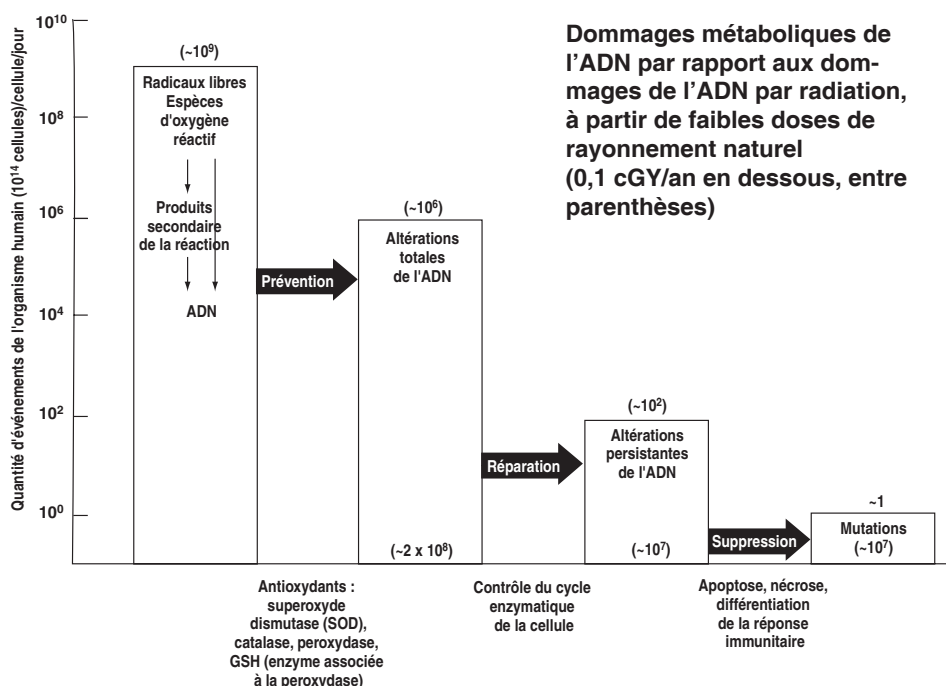
## La nature du cancer

Comme la crainte du cancer est le centre du problème, rappelons brièvement quelle est la nature de cette maladie. <sup>10</sup> Le cancer est à la fois une et plusieurs maladies. La caractéristique commune du cancer est la croissance incontrôlée

– l'apparition de tissus désorganisés qui s'étendent sans limite, compromettant le bon fonctionnement des organes et menaçant la vie de l'organisme. Chaque type de cellule et chaque tissu peuvent sécréter un type particulier de tumeur avec son propre rythme spécifique de croissance, nécessitant un diagnostic et un traitement spécifiques.

On pense que presque toutes les tumeurs malignes ont une origine monoclonale, c'est-à-dire que le point de départ d'une tumeur est une seule cellule anormale, plutôt qu'un grand groupe de cellules normales qui seraient « recrutées » par quelque agent pour devenir des cellules cancéreuses. En général, les tumeurs humaines deviennent détectables seulement après qu'elles aient atteint une taille entre 10 et 100 milliards de cellules alors qu'une personne possède entre 10 000 et 100 000 milliards de cellules (le poids d'une cellule est de  $10^{-9}$  g).

Le cancer apparaît souvent chez les personnes âgées car il faut un laps de temps assez long pour accumuler les mutations multiples nécessaires pour accélérer la croissance cellulaire et mettre hors d'état les mécanismes de suppression de cette croissance. Pour devenir une tumeur mortelle, une cellule normale doit subir de nombreuses



**Figure 2. Modèle biologique du système de contrôle des dommages de l'ADN par radiation, à partir de faibles doses de rayonnement naturel (0,1 cGy/an en dessous, entre parenthèses)**  
Les faibles doses de rayonnement stimulent de nombreuses fonctions cellulaires, dont la prévention des dommages dus à l'oxydation, la réparation enzymatique, la suppression immunologique et apoptotique des dommages de l'ADN. Source : Polycove et Feinendegen (Réf. 11).

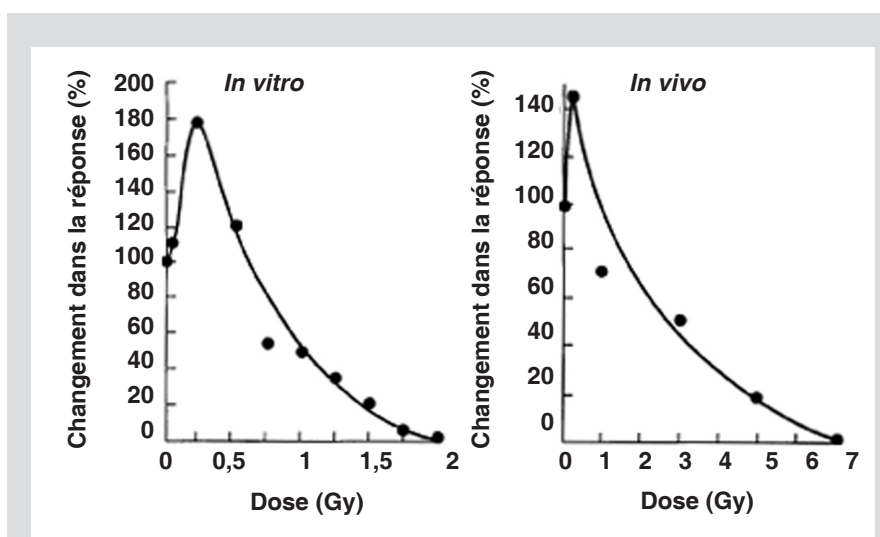
transformations – une série longue et complexe de transformations successives dans son comportement. Il faut plusieurs décennies entre le début d'une tumeur et sa détection définitive à l'hôpital.

Le fait le plus troublant à propos des carcinomes est qu'ils ne respectent pas les délimitations territoriales. Ils grandissent localement et, à la longue, continuent leur progression, répandent de petits paquets de cellules-filles capables de fonder de nouvelles colonies – des métastases – dans d'autres organes. Ces cellules-filles migrent par voie sanguine ou lymphatique pour aller se loger sur des sites éloignés.

Les cellules cancéreuses évoluent dans un nombre important de cellules différentes et se trouvent dotées de nouvelles caractéristiques leur permettant de croître plus rapidement, de rivaliser plus efficacement avec les cellules normales et d'échapper aux systèmes de défense. Tôt ou tard, la population cellulaire de la tumeur excède la capacité de l'hôte à la nourrir. Souvent, bien avant cela, les tumeurs compromettent le fonctionnement d'un organe vital, conduisant ainsi à la maladie et ensuite au décès.

L'incidence de cancers augmente de façon exponentielle avec l'âge, selon une progression de la tumeur en plusieurs étapes et en fonction du temps. Par exemple, aux Etats-Unis, le taux de mortalité annuel dû au cancer du colon varie de 14 à 83 à 400 par million, selon que l'âge des individus soit de 40 ans, 60 ans ou 80 ans – un facteur de ~6 et ~30. Le risque augmente environ à la puissance cinq du temps écoulé (référence 10, p. 157).

Quelle est la cause de la formation de cellules anormales ou de l'accélération du processus menant au cancer ? De nombreux facteurs et des éléments cancérigènes ont été identifiés : génétiques, alimentaires, chimiques, rayonnements ionisants, agents biologiques, etc. De nouveaux facteurs sont découverts chaque semaine et la liste semble être sans fin. Cependant, des recherches récentes ont révélé un taux extrêmement élevé de dommages cellulaires causés par une activité métabolique normale à la suite d'attaques par des espèces d'oxygène réactif.<sup>11</sup>



**Figure 3. Stimulation du système immunitaire par les radiations. Une faible dose de radiation, telle qu'une dose dix fois plus importante que la radiation naturelle, stimule la prévention et la réparation des dommages en cours de l'ADN, *in vitro* et *in vivo*.**

Source : Makinodan et James (Réf. 20).

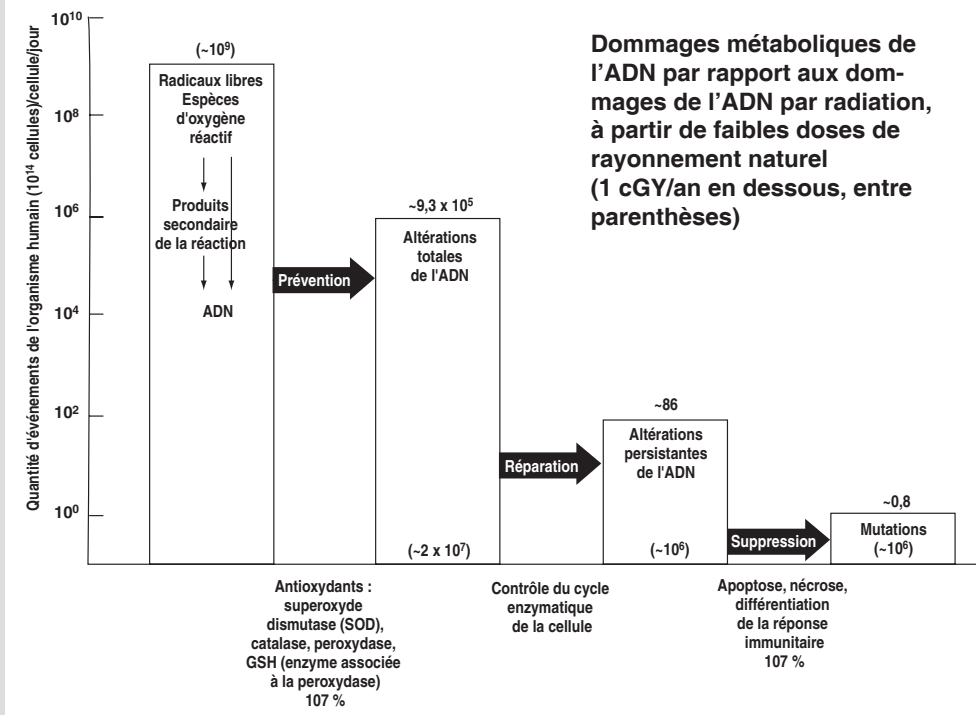
## Stimulation des défenses

Les organismes vivants possèdent de nombreuses défenses à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule, pour prévenir, réparer et supprimer les dommages cellulaires.<sup>11</sup> Ces défenses peuvent limiter la prolifération cellulaire en émettant un signal aux gènes suppresseurs de croissance et de rationnement des facteurs de croissance, ainsi que par d'autres moyens. En plus d'éliminer les cellules qui ont des dommages permanents dans leur ADN, le système immunitaire joue aussi un rôle important pour combattre certains types de cancers, surtout si le système immunitaire est stimulé.<sup>11-13</sup> Un stress psychologique important, menant à une dépression et au désespoir, affecte de façon défavorable les défenses, créant un déséquilibre hormonal limitant l'activité immunitaire et entraînant la progression plus rapide du cancer.<sup>14</sup> Comme les organismes vieillissent et les mutations s'accumulent, leurs mécanismes de défense deviennent de plus en plus faibles et donc progressivement moins efficaces dans la prévention de nouveaux cancers et le contrôle de nombreux cancers qui ont déjà commencé à se développer. Pour une vie longue et saine, il est très important de maintenir et

d'améliorer les performances de nos défenses naturelles.

Nous avons déjà mentionné le fait que beaucoup de recherches ont été entreprises tout au long du siècle passé sur les effets des rayonnements sur de nombreux organismes biologiques, dont des plantes. Nombre de ces études révélaient des effets bénéfiques pour la santé après des expositions à de faibles doses de rayonnement. Il existe des preuves convaincantes de ces phénomènes<sup>15-20</sup> et un modèle de l'effet de rayonnement ionisant sur les organismes vivants a été fourni par Pollycove et Feinendegen.<sup>11</sup>

Des études récentes montrent que de faibles doses de rayonnement stimulent de nombreuses fonctions cellulaires, dont la prévention des dommages dus à l'oxydation, la réparation enzymatique ainsi que les suppressions immunologiques et apoptotiques [mort de la cellule] des dommages de l'ADN (**figure 2**). De fortes doses aiguës (supérieures à 50 cGy) détériorent ces fonctions, entraînant des effets néfastes pour la santé. Toutefois, les faibles doses chroniques, comme des doses de l'ordre de dix fois, voire cent fois, le rayonnement naturel, stimulent les préventions et les réparations des dommages de l'ADN ainsi que le système immunitaire (**figure 3**), ce qui diminue le taux de mutation génétique (**figure 4**), menant aux ef-



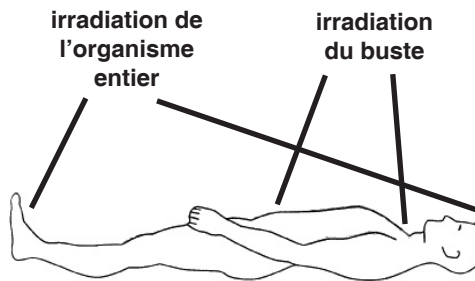
**Figure 4.** Effet potentiel de la radiation naturelle de 1 cGy / an sur le taux de mutation de l'ADN. Les faibles doses de radiation peuvent diminuer le taux de mutation génétique, diminuant ainsi la mortalité en générale, et la mortalité par cancer. Source : Pollycove et Feinendegen (Réf. 11).

↳ fets bénéfiques de la diminution de la mortalité en général et de la diminution de la mortalité par cancer en particulier.

Des stimulations thérapeutiques de ces défenses par des irradiations à faibles doses sur le corps (**figure 5**) préviennent et suppriment les métastases cancéreuses chez les rats et les souris (**figure 6**).<sup>21</sup> Les dommages cellulaires causés par le rayonnement de faible dose sont insignifiants comparés aux dégâts du métabolisme d'oxydation de l'ADN empêché, réparé et supprimé, par les défenses stimulées conduisant dans l'ensemble à des effets bénéfiques (**figure 7**).<sup>22</sup>

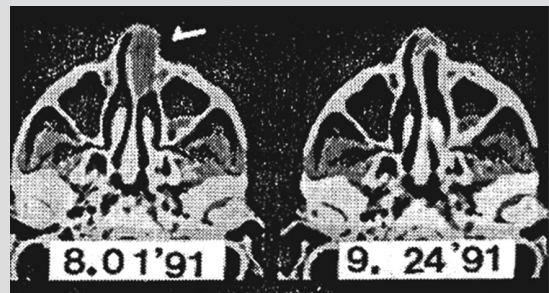
De nombreuses études médicales ont été menées pour déterminer le risque de cancer à la suite de diagnostics et de traitements thérapeutiques impliquant des rayonnements, et les résultats sont très surprenants. Une étude canadienne sur le cancer du sein, publiée en 1989, compare la mortalité par cancer du sein avec la dose de rayonnement reçue lors d'exams au fluor radioactif pour la tuberculose, entre 1930 et 1952.<sup>23</sup> Les données recueillies dans les neufs provinces (**figure 8**) montre une surprenante décroissance du risque à des faibles doses (34 % et 16 % au point correspondant aux doses d'environ 15 cGy et environ

10 cGy 3x/semaine x 5 semaines = 150 cGy  
15 cGy 2x/semaine x 5 semaines = 150 cGy

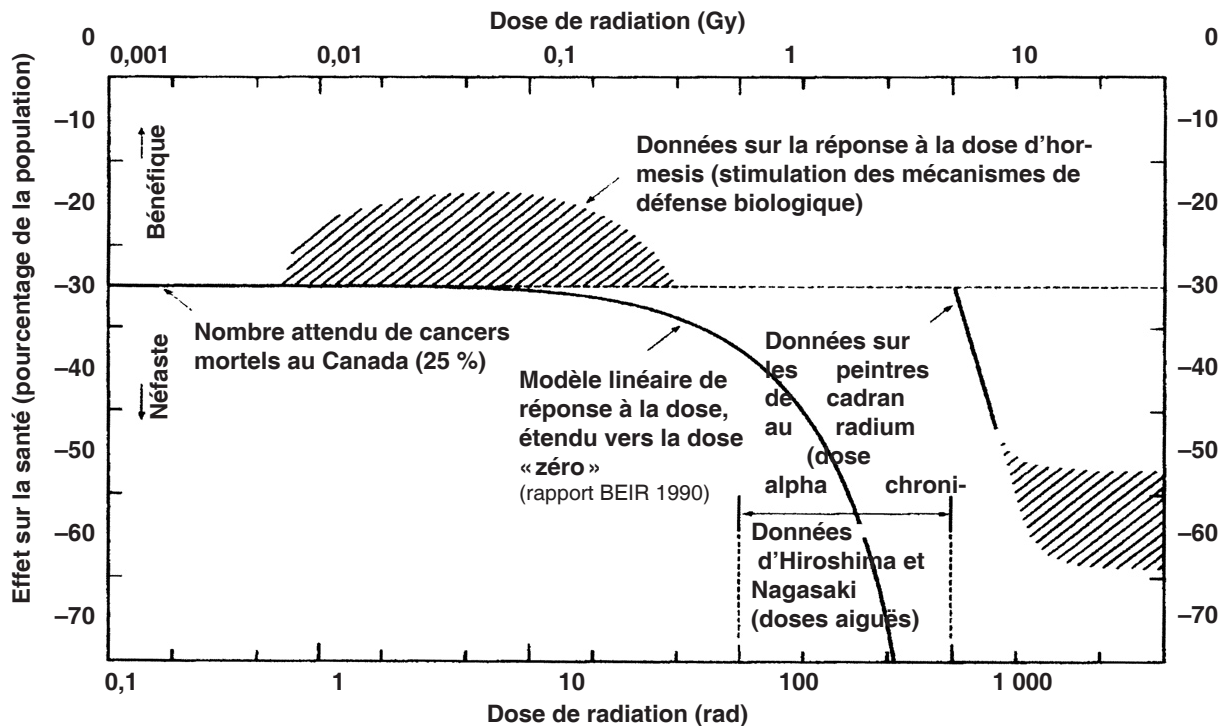


**Figure 5.** Schéma d'une thérapie par irradiation à faible dose. La thérapie par irradiation à faible dose peut être effectuée sur l'organisme entier, ou que sur le buste. Les thérapies possibles sont pour 150 cGy, administrés trois fois par semaine pendant cinq semaines à 10cGy, ou bien deux fois par semaine à 15cGy.

**Figure 6.** Elimination du cancer dans les cavités nasales supérieures par une thérapie IFD appliquée sur le buste. Des recherches sur des souris, des rats et des êtres humains ont montré qu'une irradiation



à faible dose stimule le système immunitaire, permettant de prévenir et d'éliminer les métastases cancéreuses, comme on peut le voir ici. Notez la réduction de la tumeur (èche) entre le premier août 1991 (à gauche) au 24 septembre 1991 (à droite). Source : Takai et al. (Réf. 21).



**Figure 7.** Le modèle linéaire avec des doses de radiation sur une échelle logarithmique. On peut voir les effets bénéfiques des radiations à faibles doses dans la zone hachurée, au-dessus de la ligne pointillée qui représente le nombre attendu de cancers mortels au Canada.

Source : Cuttler (Réf. 22).

25 cGy).<sup>24</sup> Une étude récente du traitement de l'hyperthyroïdie utilisant le radioiode (à une dose moyenne totale d'environ 300 MBq, 50 000 cGy à la thyroïde et 28 cGy sur l'organisme entier) révèle un nombre significativement plus faible de cancers et une mortalité par cancer plus faible.<sup>25</sup>

Des scientifiques japonais, dans quatorze universités et deux instituts de recherche, ont étudié pendant vingt ans les effets bénéfiques des faibles doses et ont trouvé des effets biopositifs remarquables<sup>18</sup>, dont :

- rajeunissement des cellules (accroissement de SOD et de la perméabilité de la membrane cellulaire) ;
- atténuation du stress psychologique à travers la stimulation d'enzymes clés ;
- suppression et guérison pour les maladies d'adulte, comme le diabète et l'hypertension ;
- suppression de cancers à travers l'amélioration du système immunitaire ;
- suppression de cancers et réponse adaptée au rayonnement par activation de la réparation de l'ADN et

de la suppression de la cellule.

## Applications thérapeutiques

L'un de ces scientifiques japonais, K. Sakamoto, a fait suivre une thérapie d'irradiation à faible dose (IFD) sur l'organisme entier (utilisant des rayons x de 6 MV), en la combinant avec des traitements palliatifs localisés par des radiations à fortes doses à une patiente atteinte d'un cancer des ovaires en stade avancé, après une opération. La thérapie IFD (15 doses fractionnées de 10 cGy sur une période de cinq semaines) a permis l'élimination complète des métastases cancéreuses.

Ce succès a conduit à entreprendre un programme de thérapie IFD concernant environ 150 patients atteints de lymphomes malins non hodgkiniens, y compris de nombreux cas intermédiaires et aigus. La thérapie IFD a été appliquée à des patients qui avaient précédemment reçu des radiations à fortes doses localisées et

de la chimiothérapie, et dont l'état ne s'était pas amélioré. Le Dr Sakamoto a observé que l'IFD améliorait leurs systèmes immunitaires et les autres défenses, et a ainsi obtenu de nombreuses guérisons qui ont duré plus de dix ans.

La **figure 9** montre que le taux de survie, sans rechute, de patients atteints de lymphomes malins non hodgkiniens a été accru par cette thérapie d'une proportion allant de 50 à 84 %.<sup>26</sup> En dépit de ces excellents taux de survie, ce programme controversé s'arrêta récemment quand le Dr Sakamoto prit sa retraite.

On a observé une efficacité similaire à la thérapie IFD pour les lymphomes malins non hodgkiniens à la Harvard Medical School dans les années 70 et plus récemment en France.<sup>27</sup> Ce succès a conduit à la récente approbation d'une proposition d'étude clinique de la thérapie IFD en Europe.<sup>28</sup>

Un examen complet de cette de thérapie montre que l'on peut s'attendre à des effets thérapeutiques bénéfiques significatifs.<sup>29</sup> Néanmoins, les oncologues semblent être très

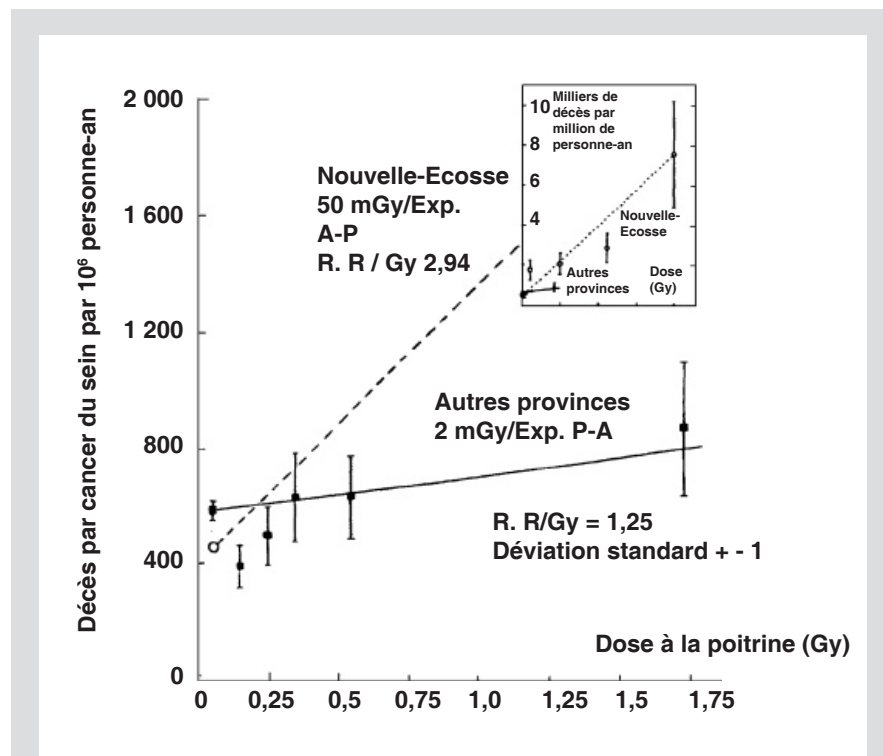


réticents pour utiliser, ou même envisager, cette thérapie. Par exemple, je suis les expériences en cours d'un patient américain qui avait réclamé une thérapie IFD pour une forme rare de lymphome malin (cancer du sang). Seul un oncologue du Johns Hopkins Medical Institute était d'accord pour entreprendre cette thérapie. L'amélioration du patient observée à la suite de ce traitement a été comparable à celle accomplie avec une chimiothérapie, mais sans aucun effet secondaire symptomatique.<sup>30</sup>

## Tchernobyl et l'UNSCEAR 2000

Le tragique accident de Tchernobyl a immédiatement déclenché de très fortes réactions de peur et de protestations à travers le monde. Nombreux sont ceux qui s'attendaient à ce que la radioactivité disséminée à Tchernobyl provoque des millions de morts du cancer et la naissance de nouveau-nés anormaux. La réalité est cependant tout à fait différente.

La réalité a été décrite dans un document de 1 220 pages intitulé *Rapport UNSCEAR 2000 : sources et effets des rayonnements ionisants*, qui fut présenté en juin 2000<sup>31</sup> et débattu en septembre 2000 lors de l'Assemblée générale des Nations unies (l'UNSCEAR est le Comité scientifique des Nations unies pour les effets des irradiations atomiques). Il a fallu 146 membres du comité et le personnel de 21 pays pendant six années pour collecter et étudier les faits dans 5 400 documents, et préparer



**Figure 8.** Une étude canadienne a établi les taux de mortalité de cancer du sein des femmes qui ont eu des examens par uroscopie pour la tuberculose, entre 1930 et 1952. Les données provenant de neuf provinces montrent une décroissance surprenante des cancers chez les femmes ayant reçu de faibles doses (34 % et 16 % aux points correspondants aux doses de 15 et 25 cGy). Les données montrent une diminution de 10 000 cancers sur 1 million de femmes qui étaient exposées à 15 cGy, au lieu de la conclusion linéaire selon laquelle il y aurait 900 cancers en excès escomptés pour cette dose.

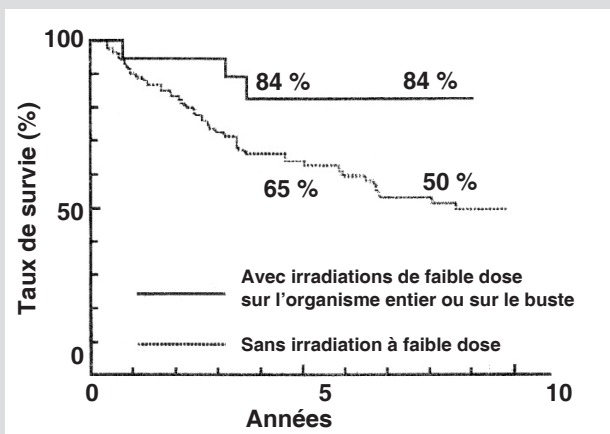
Source : Webster (Réf. 24).

un résumé de 20 pages et 10 annexes de détails techniques.<sup>32</sup> Ce rapport représente la source d'information la plus crédible sur ce sujet et a été rédigé par une organisation indépendante et non nucléaire.

Le rapport de l'UNSCEAR compare la dose de rayonnement qu'une

personne normale reçoit de tous les types de sources naturelles et d'origine humaine. Il évalue les effets sur la santé de ces rayonnements, y compris les effets causés par l'accident de Tchernobyl.

La dose de rayonnement naturel moyenne est de 2,4 mSv (0,24 rem)



**Figure 9.** Taux de survie pour les patients atteints de lymphomes non hodgkiniens avec ou sans irradiation de faible dose sur l'organisme entier ou sur le buste. Ce graphique donne les taux de survie après neuf années pour 23 patients qui ont reçu des faibles doses et pour 94 patients témoins présentant le même stade de tumeur histologique, selon Sakamoto *et al.*

Le taux de survie des patients avec les radiations à faibles doses est de 84 %, comparé au 50 % de taux de survie chez le groupe de contrôle. Le taux de survie après douze années chez les patients avec des faibles doses reste de 84 %.

Source : Sakamoto *et al.*

par an, mais le rapport fait état de données (figure 10) indiquant que les niveaux de rayonnement naturel sont entre dix et cent fois plus grands dans certaines régions géographiques où vivent de nombreuses personnes. On n'a jamais observé d'effets néfastes pour la santé liés aux rayonnements parmi les populations exposées à de telles doses naturelles élevées.

Les sources de rayonnement d'origine humaine expose une personne normale annuellement à bien moins de radiation : par exemple, 0,4 mSv (0,04 rem) pour les diagnostics médicaux, 0,1 mSv (0,01 rem) pour les essais de la bombe A dans les années 60, 0,05 mSv (5 millirem) pour l'accident de Tchernobyl et bien moins de 0,01 mSv (1 millirem) pour l'électricité d'origine nucléaire. Comme le rayonnement d'origine naturelle ou d'origine humaine affecte la cellule de la même manière, nous ne devrions pas nous attendre à

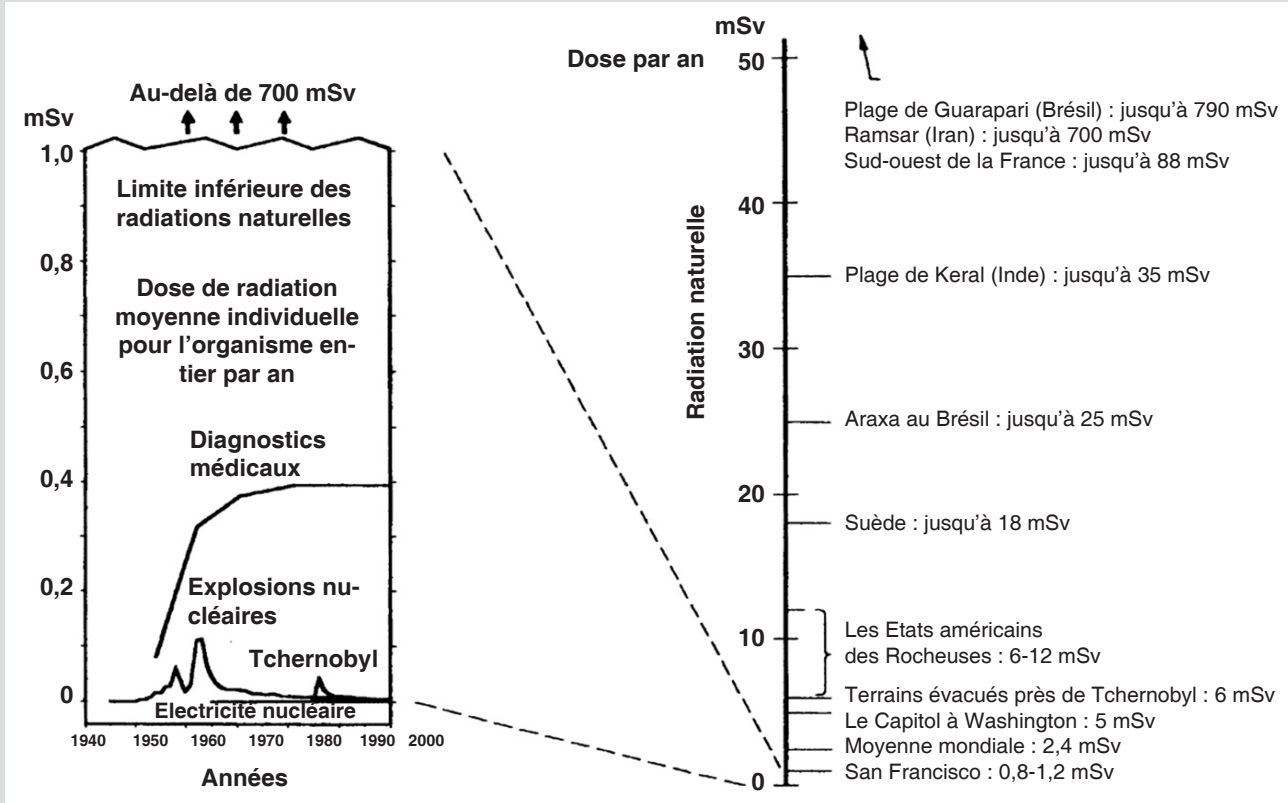
ce que les effets sur la santé soient différents pour ceux qui reçoivent la même dose de l'une des deux sources, à court terme comme à long terme.

Qu'en est-il maintenant de Tchernobyl ? Sur les 134 employés de Tchernobyl qui ont développé des symptômes de maladie due aux radiations aiguës, 28 sont morts des suites de leur maladie et 2 sont morts suite à l'incendie ou l'effondrement d'objets – tous les autres patients ayant les symptômes de maladie due aux radiations aiguës se sont rétablis. De nombreux travailleurs étaient venus dans l'urgence sur place pour éliminer les débris radioactifs, afin de permettre au personnel de continuer à faire fonctionner les trois autres réacteurs. Parmi les 381 000 impliqués dans le nettoyage du site, on a observé aucune augmentation au-dessus du nombre normal de cancers ou de leucémies que l'on

trouve dans l'ensemble de la population.

Les autorités ont déplacé 116 000 personnes de leur foyer en 1986, 220 000 de plus par la suite, afin d'éviter une dose-vie (70 ans) de plus de 350 mSv (ce qui est le double du rayonnement naturel moyen du monde), même si de nombreuses personnes vivent en très bonne santé dans des régions qui sont bien plus radioactives.

En 1986, on a commencé un dépistage des personnes de la région de Tchernobyl. Aucun programme aussi approfondi n'avait été entrepris auparavant dans cette région. Jusqu'à maintenant, il a été identifié un total d'environ 1 800 cancers de la thyroïde. Avant l'accident, le nombre de cancers de la thyroïde détectés chez l'enfant était de 0,2 pour 100 000 en Biélorussie et en Ukraine ; aucune donnée n'est disponible pour la Russie. Les taux maximums enregistrés entre 1987 et



**Figure 10.** Comparaison des radiations naturelle et d'origine humaine, dose annuelle moyenne (1940-2000). La dose de radiation naturelle moyenne est de 2,4 mSv (0,24 rem) par an, mais, dans de nombreuses régions, les niveaux de rayonnement sont bien plus élevés, à cause de l'altitude et de la composition minéralogique des sols. La dose d'origine humaine reçue par les individus par an est bien plus petite, par exemple, seulement 0,4 mSv (0,04 rem) pour les diagnostics médicaux.

Source : Rockwell (Réf. 39) ; certaines données sont tirées du discours de Zbigniew Jaworowski donné à Téhéran lors de la Conférence internationale sur les radiations (18-20 octobre 2000), qui se basait sur les chiffres de l'UNSCEAR.

1998 sont les suivants : Biélorussie 17,9, Ukraine 4,9 et Russie 26,6 pour 100 000 enfants.

Cela signifie-t-il que ces cancers ont été provoqués par l'accident ? En général, quand la radiation est la cause, il faut au moins dix ans pour qu'un cancer se développe. Or la moitié de ces cas de cancers de la thyroïde a été détectée bien avant cette date (en Russie, par exemple, dans la deuxième année après l'accident, il y avait 9,1 cas pour 100 000 enfants.).

De même, le nombre de ces cancers de la thyroïde est *plus faible* dans les régions de fortes doses ! Pourrait-il y avoir des cancers de la thyroïde non détectés (petits, stables) ? Cela arrive naturellement et ne pose que rarement de problèmes médicaux.<sup>33</sup> Dans des conditions habituelles, il y a plusieurs milliers de tels cancers de la thyroïde dans une population de 100 000 personnes. Le nombre varie selon la situation géographique et dépend de nombreux facteurs différents.

Aux Etats-Unis, il y a 13 000 cancers de ce type pour 100 000 personnes (et 24 000 cancers de la thyroïde pour 100 000 personnes à Hawaï). Est-il correct de conclure qu'il y a eu augmentation du nombre de cancers de la thyroïde après l'accident de Tchernobyl, alors qu'il n'y a pas eu de dépistage équivalent avant l'accident ?

Dans un rapport de l'US National Council on Radiation Protection sur les cancers de la thyroïde<sup>34</sup>, nous avons la déclaration remarquable suivante : « *Les données humaines disponibles sur l'exposition à des faibles doses de I-131 (iode 131) n'ont pas démontré que I-131 est cancérigène pour la thyroïde humaine.* » Le National Cancer Institute a mené une étude pendant quatorze ans sur les cancers de la thyroïde détectés sur l'ensemble du territoire des Etats-Unis, durant la période des trente années qui ont suivi la centaine d'essais de la bombe A au Nevada, entre les années 50 et le début des années 60. Le rapport de 1997 comparait le nombre dans chaque région avec la quantité de rayonnement, et les scientifiques n'ont trouvé aucune preuve permettant d'établir un lien entre le cancer de la thyroïde et ces rayonnements.<sup>35-36</sup>

Ainsi, il semble que les 1 800 cas en « excès » de cancer de la thyroïde,

dans le programme de dépistage à Tchernobyl, *n'étaient pas causés* par des radiations.

Le rapport de l'UNSCEAR conclut que l'on a observé aucune augmentation du nombre de cancers ou de mortalité qui pourrait être attribuée aux rayonnements ionisants, que le risque de leucémie n'apparaît pas plus élevé, même chez le personnel employé dans le nettoyage du site, et qu'il n'y a aucune preuve d'autres troubles non malins qui soient reliés aux rayonnements.

Il y a eu de nombreuses réactions psychologiques à l'accident, note le rapport de l'UNSCEAR, mais elles ont été provoquées par la peur des radiations et non par la radiation elle-même. En d'autres termes, il n'y a aucune nécessité pour quiconque de vivre dans la peur de conséquences graves pour la santé dues à l'accident de Tchernobyl. Dans leur grande majorité, les personnes ont été exposées à des niveaux de rayonnement comparable, ou juste légèrement supérieur, au niveau naturel moyen.

## Politiques et mythes

Les politiques et les mythes qui ont été créés il y a une cinquantaine d'années par la CIPR (Commission internationale sur la protection radiologique) ont convaincu de nombreuses personnes que la radiation est néfaste quelle que soit sa quantité. Les autorités de réglementation ainsi que de nombreux chercheurs persistent à ignorer les preuves statistiquement significatives qui contredisent cette vision linéaire sans seuil des rayonnements. Ils ignorent tout simplement la preuve qui montre qu'il n'y a pas d'effets néfastes des doses élevées de radiation naturelle dans de nombreuses régions, ainsi que la preuve que les faibles doses de rayonnement reçues par les travailleurs du nucléaire et les patients (y compris les patients atteints de cancer) procurent, dans l'ensemble, des effets bénéfiques pour la santé.

Le comportement de la CIPR est mis en cause et débattu au sein de la communauté scientifique<sup>37-38</sup> mais il existe une énorme résistance bureaucratique à tout changement, lequel pourrait menacer les milliards de dollars de recherche et assécher

le flux de financement qu'a rendu possible le mythe du modèle linéaire sans seuil.<sup>40</sup>

Le plus grand préjudice réside dans la peur du public que ce mythe entretient, rendant difficile pour de nombreux scientifiques de présenter les véritables preuves des effets bénéfiques des rayonnements à faibles doses qui ont été observés sur les êtres humains et d'autres organismes vivants. Il n'est d'ailleurs pas surprenant que le très important rapport UNSCEAR 2000 ait reçu très peu de publicité.

Ainsi, le mythe sur le cancer et les bébés anormaux continuera tant que la science continuera à entreprendre toujours plus de recherches politiquement correctes et politiquement financées sur la réponse des cellules et des souris aux rayonnements.

Le mythe du modèle linéaire sans seuil entrave les efforts qui visent à fournir une énergie nucléaire sûre et respectueuse de l'environnement, afin d'alimenter en énergie les économies mondiales. Il entrave également l'utilisation généralisée de thérapie par faibles doses pour guérir ou maîtriser les cancers et d'autres maladies. Au nom de la « protection », on fait en réalité du mal.

Combien de temps faudra-t-il avant que les inquiétudes concernant l'approvisionnement en énergie et le taux de décès par cancer fasse prendre conscience à la population des résultats scientifiques réels ? Combien de temps faudra-t-il avant que l'on écarte les mythes et prenne des mesures pour

### Remerciements

Je remercie le Dr. Myron Pol-lycove, de la Commission de régulation nucléaire américaine et de l'université de San Francisco (Californie) pour sa relecture approfondie de cet article, ainsi que le Dr. Zbigniew Jaworowski, du Laboratoire central pour la protection radiologique de Varsovie, et représentant pour la Pologne à l'UNSCEAR, qui m'a fourni des éclaircissements sur le Rapport UNSCEAR 2000 et des informations importantes sur les études sur le cancer de la thyroïde concernant l'accident de Tchernobyl.

## Références

1. S.R. Weart, 1988. *Nuclear Fear-A History of Images*, (Cambridge, Mass. : Harvard University Press).
2. R.H. Clarke, 2001. « Progress towards new recommendations from the International Commission on Radiological Protection », *Nuclear Energy*, Vol. 40, No. 1 (February), pp. 37-45 (Journal of the British Nuclear Energy Society).
3. R.D. Evans, 1974. « Radium in man », *Health Physics*, Vol. 27, pp. 497-510.
4. R.E. Rowland, 1994. *Radium in humans : A review of U.S. studies*, Argonne National Laboratory, DOE Report ANUER-3, UC-408.
5. M. Polycove, L.E. Feinendegen, 1999. « Molecular biology, epidemiology, and the demise of the linear no-threshold (LNT) hypothesis », *C.R. Acad Sci Paris, Sciences de la vie (Life Sciences)*, Vol. 332, pp. 197-204, Editions Elsevier, ISSN 0764-4469
6. R.E. Lapp, 1995. *My life with radiation Hiroshima plus fifty years*, (Madison, Wisc. : Cognito Books), p. 67.
7. S. Kondo, 1993. *Health affects of low-level radiation*, (Madison, Wisc. : Medical Physics Publishing), p. 4.
8. D.A. Pierce, Y. Shimizu, D.L. Preston, M. Vaeth et K. Mabuchi, 1996. « Studies of the mortality of atomic bomb survivors », Report 12, Part 1. Cancer : 1950-1990, in *Radiation Research*, Vol. 146, pp. 1-27.
9. National Council on Radiation Protection and Measurement, 1995. *Principles and application of collective dose in radiation protection*, NCRP Report No. 121 (Bethesda, Md.), p. 45.
10. H. Varmus et R.A. Weinberg, 1993. *Genes and the Biology of Cancer* (New York : Scientific American Library, W.H. Freeman & Co.) p. 25.
11. M. Polycove et L.E. Feinendegen, 2000. « Cellular and organism dose-response : biopositive (health benefit) affects », in *Proceedings of International Symposium on Health Benefits of Low-Dose Radiation-The Science and Medical Applications*, Washington, D.C., Nov. 15, 2000 (Needham, Mass. : Radiation, Science, and Health). [http://cnts.wpi.edu/RSH/Docs/Polycove2000Symp\\_on\\_Med\\_Ben.htm](http://cnts.wpi.edu/RSH/Docs/Polycove2000Symp_on_Med_Ben.htm)
12. R.E.J. Mitchel et D.R. Boreham, 2000. « Radiation protection in the world of modern radiobiology : A time for a new approach », in *Proceedings of 10th International Congress of the International Radiation Protection Association*, Hiroshima, Japan, May2000, Plenary Session 1. <http://cnts.wpi.edu/RSH/Docs/IRPA10/Mitchel.html>
13. L. Sompayrac, 1999. *How the immune system works* (Malden, Mass. : Blackwell Science Inc.).
14. O.C. Simonton, S. Matthews-Simonton, et J.L. Creighton, 1978. *Getting well again* (New York : Bantam Books).
15. T.D. Luckey ; 1980. *Hormesis with ionizing radiation* (Boca Raton, Fla. CRC Press).
16. T.D. Luckey, 1991. *Radiation hormesis* (Boca Raton, Fla. CRC Press).
17. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1994. *Adaptive responses to radiation in cells and organisms, Sources and Effects of Ionizing Radiation*, UNSCEAR 1994 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex B.
18. S. Hattori, 1998. « The research on the health effects of low-level radiation in Japan », in *Proceedings of 11th Pacific Basin Nuclear Conference*, Banff, Alberta (Canadian Nuclear Society).
19. E.J. Calabrese et L.A. Baldwin, 1999. *Radiation hormesis : origins, history, scientific foundations* (Amherst, Mass. : University of Massachusetts, School of Public Health). <http://www.belleonline.com/home82.html>
20. T. Makinodan et S.J. James, 1990. « T cell potentiation by low dose ionizing radiation : Possible mechanisms », *Health Physics* Vol. 59, No. 1, pp. 29-34.
21. Y. Takai, S. Yamada, K. Nemoto, Y. Ogawa, Y. Kakutou, A. Hosi et K. Sakamoto, 1992. « Asti-tumor effect of low dose total (or half) body irradiation and changes in the functional subset of peripheral blood lymphocytes in nonHodgkin's lymphoma patients after TBI (HBI), Low Dose Irradiation and Biological Defense Mechanisms », Kyoto, July 12-16, 1992, in *Excerpta Medica*, Eds. T. Sugahara, L.A. Sagan, and T. Aoyama (Amsterdam : Elsevier Science Publishers), pp. 113-116.
22. J.M. Cuiller, 2000. « Resolving the controversy over beneficial affects of ionizing radiation », in *Proceedings of World Council of Nuclear Workers (WONUC) Symposium on the Effects of Low and Very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health*, Versailles, France, June 17-18, 1999 (Amsterdam : Elsevier Science Publishers) pp. 463-471, AECL-12046.
23. A.B. Miller, G.R. Howe, G.J. Sherman , J.P. Lindsay, M.J. Yaffe, P.J. Dinner, H.A. Risch et D.L. Preston, 1989. « Mortality from breast cancer after irradiation during uroscopic examination in patients being treated for tuberculosis », *N. Engl. J. Med.*, Vol. 321, pp. 1285-1289.
24. E.H. Webster, 1992. « Dose and risk in diagnostic radiology : how big ? how little ? » Lauriston S. Taylor Lectures in *Radiation Protection and Measurements, Lecture No. 16*, April 1992 (Bethesda, Md. : NCRPM), Fig. 12, p. 35.
25. J.A. Franklyn, P. Maisonneuve, M. Sheppard, J. Betteridge, et P. Boyle, 1999. « Cancer incidence and mortality after radioiodine treatment for hyperthyroidism : A population-based cohort study », *The Lancet*, Vol. 353 (June 19), pp. 2111-2115.
26. K. Sakamoto, M. Myogin, Y. Hosoi, Y. Ogawa, K. Nemoto, Y. Takai, Y. Kakuto, S. Yamada, et M. Watabe, 1997. « Fundamental and clinical studies on cancer control with total or upper half body irradiation », *J. Jpn. Soc. Ther. Radiol. Oncol.*, Vol. 9, pp. 161-175.
27. P.M. Richaud, P. Soubeyran, H. Eghbali, B. Chacon, G. Marit, A. Broustet, B. Hoerni, 1998. « Place of low-dose total body irradiation in the treatment of localized follicular non-Hodgkin's lymphoma : Results of a pilot study », *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, Vol. 40, pp. 387-390.
28. J.H. Meerwaldt et P. Richaud, 1999. « A phase III randomized study on low-dose total body irradiation and involved field radiotherapy in patients with localized, stage I and II, low grade non-Hodgkin's lymphoma », A proposal by EORTC Lymphome Cooperative Group, 83, Avenue Emmanuel Mounier, Bte 11, B-1200 Brussels, Belgium, Sept. 13.
29. A. Safwat, 2000. « The role of low-dose total body irradiation in treatment of non-Hodgkin's lymphoma : A new look at an old method », *Radiother. and Oncol.*, Vol. 56, No. 1, pp. 1-8.
30. J.M. Cuttler, M. Polycove, et J.S. Walsh, 2000. « Application of low doses of radiation for curing cancer », *Canadian Nuclear Society Bulletin*, Vol. 21, No. 2, pp. 45-46 (Aug.). [http://cnts.wpi.edu/RSH/Docs/cuttler\\_et\\_al.htm](http://cnts.wpi.edu/RSH/Docs/cuttler_et_al.htm)
31. United Nations, 2000. « UNSCEAR Focuses on Chernobyl Accident in General Assembly Report », Press Release No : UNIS/UNSCEAR/1 (June 6). <http://www.un.org/ha/chernobyl/unscear.htm>
32. UNSCEAR, 2000. *Sources and Effects of Ionizing Radiation, The UNSCEAR 2000 Report-Summary*, <http://www.cns-snc.ca/branches/Toronto/radiation/UNSCEAR2000Report.rtf>
33. M. Moosa, E.L. Mazzaferri, 1997. « Occult Thyroid Carcinoma », *Cancer Journal*, Vol. 10, No. 4 (July Aug.). <http://www.fr.embnet.org/agora/jour-nals/cancer/articles/10-4/moos.htm>
34. National Council on Radiation Protection, 1985. *Induction of Thyroid Cancer by Ionizing Radiation*, NCRP Report No. 80, Chapter 4, « Human Experience after Exposure to Iodine131 ».
35. R.A. Brown, 1997. *Bomb Fallout and Thyroid Cancer. Statistical Sheep in Real Wolves' Clothing*. <http://www.srv.net-russb/thyroid/index.html>
36. National Cancer Institute, 1997. « NCI Releases Results of Nationwide Study of Radioactive Fallout from Nuclear Tests », Press Release, Aug. 1 (Bethesda, Md. : NCI). [http://rex.nci.nih.gov/INTRFCE-GIFS/MASSMED-INTR\\_DOC.htm](http://rex.nci.nih.gov/INTRFCE-GIFS/MASSMED-INTR_DOC.htm)
37. Z. Jaworowski, 1999. « Radiation risk and ethics », *Phys. Today*, (Sept.), pp. 24-29
38. « Radiation risk and ethics : Health hazards, prevention costs and radiophobia », *Letters in Physics Today*, April 2000, p. 11 et May 2000, p. 11.
39. T. Rockwell, 2000. Personal communication, Dec. 5.
40. J. Muckerheide, 2000. « It's Time to Tell the Truth About the Health Benefits of Low-Dose Radiation », *21st Century*, (Winter), pp. 44-55. <http://www.21stcenturysciencetech.com/articles/nuclear.html>