

Les effets biologiques des faibles niveaux de rayonnement et les risques de cancer

Contrairement à ce que certains croient, le rapport entre l'irradiation et le risque de cancer est très variable

par R. Mukherjee
et J. Mircheva

Les risques que comporte pour la santé l'exposition à de faibles niveaux de rayonnements ionisants, en particulier les risques de cancer, suscitent invariablement un grand intérêt. Des articles récents sur les concentrations de radon dans les habitations et autres bâtiments, les abondantes retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986 et les grappes suspectes de cancer aux alentours des installations nucléaires avivent l'inquiétude.

Lorsqu'elles paraissent dans la presse non spécialisée, les nouvelles de ce genre risquent d'effrayer inutilement le public et de lui donner l'impression fautive que les rayonnements sont d'une certaine façon le principal, sinon le seul agent cancérogène de notre environnement. Cela est loin d'être vrai.

Malheureusement, cette perception n'est pas facile à corriger. Il existe une documentation scientifique pratiquement encyclopédique sur les rayonnements de faible intensité et leurs effets sur la santé, mais on la trouve essentiellement dans des publications spécialisées que le grand public ne peut pas aisément se procurer.

On y trouve l'exposé des notions fondamentales ainsi que des études qui peuvent contribuer à éclairer le problème des rayonnements et du risque de cancer et le placent dans une plus juste perspective. Nous nous occuperons dans cet article de quelques aspects importants du problème.

M. Mukherjee est chef de la Section de radiobiologie appliquée et de radiothérapie, Division des sciences biologiques de l'AIEA, et Mme Mircheva est membre de cette section. Les opinions exprimées dans le présent article sont celles des auteurs et ne correspondent pas nécessairement à celles de l'AIEA.

Facteurs environnementaux et autres

Au début du siècle, ce fut la découverte des rayonnements ionisants et de la radioactivité. Les pionniers de ce nouveau domaine étaient à l'époque inconscients des conséquences que l'irradiation pouvait avoir pour la santé. Nombre d'entre eux ont beaucoup souffert de néoplasmes radio-induits, surtout de radio-dermites.

Cette tragédie des premiers temps, les temps de l'ignorance, fut bientôt suivie d'une période d'illumination avec les progrès de la radiobiologie et de la radiogénétique. Peu à peu, les principes régissant les rapports entre la dose et l'effet ont été mis en lumière, ce qui a permis de définir et de prévoir quantitativement les effets cancérogènes possibles des rayonnements chez l'animal et chez l'homme. Depuis lors, les connaissances n'ont cessé de croître, grâce aux études épidémiologiques. Vers la fin des années 40, un autre domaine d'étude directe de l'exposition de l'être humain à de fortes doses de rayonnement ionisant s'est ouvert: la cohorte des survivants japonais de la bombe atomique.

Les premiers cas de néoplasmes radio-induits chez l'homme, et ceux qui ont suivi, semblent néanmoins avoir contribué à influencer l'opinion et nombreux sont ceux qui pensent qu'il existe un «rapport inéluctable» entre les rayonnements ionisants et le risque de cancer chez l'homme. Cette idée est née alors même que les applications médicales des rayonnements multipliaient leurs bienfaits et que des critères quantitatifs et des normes de radioprotection étaient formulés par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et par le Comité scientifique des

Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR).

Puis on a su mesurer avec précision le fond naturel de rayonnement. Nous savons que tout être humain, qu'il habite un pays techniquement avancé ou un pays en développement, est inévitablement exposé à un rayonnement de faible intensité. Les sources naturelles de ce rayonnement sont le radon, les rayons cosmiques, les roches et les sols, ainsi que le potassium 40 que contient le sel, par exemple. Ils représentent la plus grande part de la radioexposition de l'être humain, la dose individuelle moyenne reçue de ces sources étant de 2,4 millisieverts (mSv) environ par an.

Parmi les autres sources de radioexposition, mentionnons les moyens radiologiques de diagnostic et les installations du cycle du combustible nucléaire qui, dans les conditions normales d'exploitation, sont une source minime d'irradiation de l'être humain. La dose moyenne annuelle que reçoit l'individu de ces dernières représente moins de 1 % des 2,4 mSv que lui délivrent les sources naturelles de rayonnement.

Dans l'environnement, nombreuses sont les substances autres que les sources de rayonnement auxquelles la population est exposée. Citons notamment les polluants chimiques et les agents génotoxiques, dont on sait que certains sont carcinogènes et probablement une des principales causes de la détérioration de l'environnement. Ce sont par exemple les polluants associés aux combustibles fossiles, tels les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou le benzo-a-pyrène; les métaux lourds toxiques; les goudrons et autres produits organiques identiques aux substances carcinogènes contenues dans la fumée de cigarette; les gaz nocifs, tels l'anhydride sulfureux et les oxydes d'azote qui contribuent à l'effet de serre et au phénomène d'échauffement de la planète. D'autres polluants industriels — l'amiante, le chlorure de vinyle de l'industrie des matières plastiques, et la dioxine — sont également en cause.

Ces agents chimiques, soit isolément soit en association avec le rayonnement ambiant, peuvent, par synergie, aggraver le risque de cancer chez l'homme. L'étude systématique de l'incidence du cancer, plus élevée chez la population urbaine que chez les populations rurales témoins, semble appuyer la thèse que le cancer est une maladie écologique.

Etudes épidémiologiques et modèles de risque

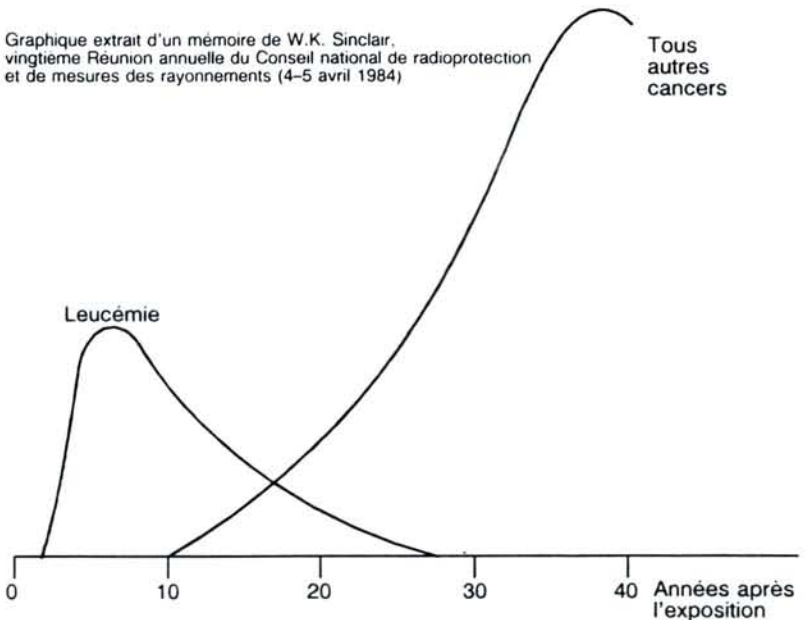
Il existe une abondante documentation sur le cancer provoqué par une irradiation intense, qui a été fournie en grande partie par les études approfondies faites sur les survivants japonais des bombardements atomiques de Hiroshima et de Nagasaki en 1945. En outre, des études épidémiologiques ont été faites sur des patients exposés lors du traitement radiothérapeutique de la spondylarthrite, du cancer du col de

l'utérus et autres affections, ainsi que sur des groupes professionnellement exposés. Les résultats de ces études sont confirmés dans les rapports spécialisés des équipes du Japon et des Etats-Unis de la Radiation Effects Research Foundation (RERF), rapports qui rendent compte des études viagères faites sur les survivants des bombardements atomiques et sur leurs descendants. Des résultats sont également exposés dans les rapports de l'UNSCEAR, du Comité du Conseil national de la recherche des Etats-Unis sur les effets biologiques des rayonnements ionisants (BEIR), et autres travaux importants en radioprotection.

Les études sur les survivants de la bombe atomique, dans leur ensemble, ont montré jusqu'à présent que divers types de cancer sont responsables d'un accroissement de la mortalité dans cette population. L'apparition de tumeurs malignes dans certains délais après la radioexposition suit une distribution déterminée (voir le graphique). La leucémie se manifeste en premier lieu, après une période de latence de deux à trois ans, pour atteindre une incidence maximale de six à huit cas par an, puis diminue pour disparaître presque totalement 25 ans après l'exposition. Les autres cancers, en revanche, ont un comportement différent.

Le cancer dans le temps

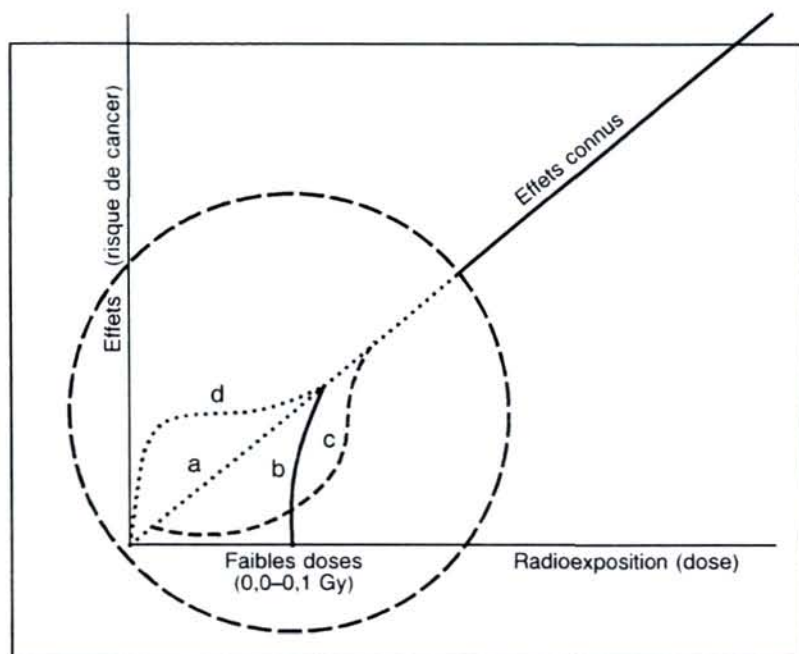
Graphique extrait d'un mémoire de W.K. Sinclair, vingtième Réunion annuelle du Conseil national de radioprotection et de mesures des rayonnements (4-5 avril 1984)



Abstraction faite de quelques différences mineures entre les différents types de cancer, ceux-ci commencent généralement à apparaître après une latence de quelque dix ans après l'exposition. Leur incidence tend à augmenter progressivement en fonction de la dose reçue et de paramètres associés à l'âge.

Selon les estimations de la CIPR et de l'UNSCEAR, le risque de cancer par unité de dose absorbée — fortes doses sous débit de dose élevé à l'individu moyen d'une population — se situe entre 4,5 et 7,1 % par sievert (Sv) selon le modèle utilisé pour le calcul.

**Modèles possibles
de la variation des
effets de l'irradiation
en fonction des doses
aux faibles intensités**



En revanche, pour les faibles doses de rayonnement (généralement inférieures à 0,2 gray), les données disponibles ne permettent pas d'établir avec certitude un risque de cancer. L'hypothèse radiobiologique demeure néanmoins prudente. Elle se fonde sur un rapport dose-effet linéaire présumant que toute radioexposition, aussi faible soit la dose, peut

ment, quant à leurs caractéristiques, de ceux qui résultent d'une exposition à des rayonnements ionisants. C'est ce qu'a montré la recherche cytologique et génétique, notamment l'étude des fonctions cellulaires et de l'acide désoxyribonucléique (ADN), qui est le vecteur chimique et moléculaire de l'hérédité (voir la figure). Les dommages causés au niveau de la molécule d'ADN par les rayonnements ou les produits chimiques présentent entre eux des analogies. Dans les deux cas, les cellules atteintes sont capables de réparer le dommage en tout ou en partie; il se peut aussi qu'elles meurent, selon l'importance de l'exposition et de la lésion. Les survivantes peuvent devenir des «stimuli de prolifération» et être le point de départ d'une évolution cancéreuse. Le processus peut être accéléré par des facteurs extérieurs ou génétiques tels que substances présentes dans les aliments ou gènes viraux dits oncogènes. La probabilité statistique de cette évolution cancéreuse par étapes successives dans une lignée de cellules est fonction de tous ces facteurs et événements. Aux faibles doses et débits de dose de rayonnement, le risque d'amorçage d'un cancer est jugé faible à cause de l'efficacité des moyens intrinsèques de réparation dont dispose la cellule. On attend des études de radiobiologie moléculaire en cours un complément d'information et des données quantitatives plus précises sur le rapport dose-effet qui viendront renforcer les moyens analytiques au service de l'évaluation des risques de cancer.

en principe avoir un effet sur la santé qui serait proportionnel à la dose totale absorbée. C'est sur cette hypothèse que reposent les normes de radioprotection nationales et internationales.

Aux faibles doses et débits de dose, la plupart des radiobiologistes estiment qu'il y a relativement peu de risque pour la santé, si l'on s'en remet au modèle linéaire. Certains chercheurs, néanmoins, supposent un seuil en dessous duquel le risque est réellement nul; d'autres prétendent que le risque est beaucoup plus faible ou beaucoup plus élevé que ne le prévoit le modèle linéaire (voir le graphique).

Considérations radiobiologiques

En l'absence de données concluantes, c'est le rapport théorique dont nous venons de parler qui régit les évaluations des effets des expositions aux faibles niveaux d'irradiation. Les débits de dose à considérer sont plusieurs fois inférieurs aux débits de dose les plus faibles auxquels des effets (y compris carcinogènes) ont été constatés avec certitude.

Les cancers communs, tels ceux du sein, du poumon, des voies gastro-intestinales, ainsi que la leucémie, peuvent être provoqués par divers agents. Ceux qui sont provoqués par des agents chimiques ne peuvent être distingués clinique-

La vraie dimension du problème

Vu l'incidence relativement élevée du cancer dans l'ensemble de la population, la détermination de la contribution des rayonnements de faible intensité s'est avérée difficile et sujette à controverse. Cette contribution peut être masquée par l'apparition normale de troubles qui peuvent être ou non dus à une radioexposition. L'analyse se complique du fait qu'il n'est pas possible d'isoler une population témoin qui ne soit pas exposée à des rayonnements.

En dessous de la plage de 0,05 à 0,1 gray, ce qui est invariablement et fréquemment le cas en radioprotection, les tentatives pour estimer le nombre de cancers supplémentaires provoqués par de faibles irradiations se heurtent à toute une série d'incertitudes et d'hypothèses. On s'accorde généralement pour penser que l'effet probable de l'exposition d'un grand nombre d'individus à un faible rayonnement peut être l'amorçage d'un nombre relativement restreint de cancers en plus des milliers de cas qui se présentent naturellement, et cela des années ou même des décennies après la radioexposition.

Les populations humaines ont été et continueront d'être inévitablement exposées à des doses infimes de rayonnement ionisant provenant des sources naturelles. En certains endroits

de l'Inde, de la Chine, du Brésil et d'autres pays, la population reçoit des doses de rayonnement naturel qui sont, de fait, trois à quatre fois plus élevées que la moyenne habituelle. Jusqu'à présent, on n'a pas de preuve certaine d'une augmentation de l'incidence du cancer parmi ces populations.

A la suite de l'accident de Tchernobyl de 1986, certaines informations prétendaient qu'il fallait prévoir entre 10 000 et 20 000 cas supplémentaires de cancer au cours des prochaines 70 années dans une population irradiée de quelque 10 millions d'habitants. Même s'il devait en être ainsi, ces cas seraient-ils statistiquement décelables dans l'incidence naturelle et spontanée du cancer parmi une population aussi nombreuse? En vérité, il se pourrait que l'on ne constate pas plus d'un ou deux cas supplémentaires de cancer d'un certain type qui seraient attribuables à la radioexposition résultant de l'accident de Tchernobyl. La prédiction forte et la prédiction faible sont tout aussi incertaines l'une que l'autre.

On a aussi entendu dire récemment que l'incidence de la leucémie infantile aurait apparemment augmenté parmi la progéniture de certains travailleurs du sexe masculin de l'usine de retraitement de combustible nucléaire de Sellafield. Le mécanisme de l'augmentation du risque de leucémie a été attribué à certains changements génétiques «occultes» intervenant dans les gamètes des pères des enfants leucémiques en question. Or, cette hypothèse qui repose sur un échantillon extrêmement réduit est en parfaite contradiction avec celle qui est émise par une étude japonaise comparable et semble incompatible avec tous les processus biologiques plausibles de la reproduction et de la transmission par voie génétique. A Hiroshima, on n'a relevé que 13 cas de cancer, dont cinq de leucémie, parmi 10 903 enfants de 20 ans et moins dont les pères avaient été exposés aux retombées de la bombe (la dose moyenne qu'ils avaient reçue étant de 466 mSv). Lors d'une étude témoin portant sur 41 066 enfants, 49 cas de cancer, dont sept de leucémie, ont été relevés. Ces travaux montrent qu'il n'y a pas d'effets décelables de la radioexposition paternelle sur le risque de leucémie infantile.

Les risques que comporte l'exposition à de faibles niveaux de rayonnement ne doivent pas être négligés et ils font l'objet d'études approfondies depuis presque un siècle. Dans le même temps, on a constaté que nombre d'agents autres que les sources de rayonnement comportaient, pour la santé, des risques souvent bien plus grands, selon les estimations. Et il en reste encore beaucoup à découvrir.

L'incertitude quant aux effets des faibles niveaux de rayonnement a servi à alimenter la controverse et à animer la publicité que l'on a faite autour de la question. Elle tend néanmoins à démontrer que si effets il y a, ils sont minimes et extrêmement difficiles à mettre en évidence de manière concluante.

Dans ces conditions, on peut dire que tout l'édifice des normes de radioprotection qui repose sur des hypothèses prudentes, est scientifiquement bien fondé. Les progrès de la radiobiologie moléculaire devraient permettre d'obtenir de nouvelles données quantitatives et de mieux comprendre les mécanismes du développement du cancer, ainsi que les rapports entre la dose et l'effet.

Mécanismes de l'induction du cancer

