

COMMUNIQUÉ

au nom de la Commission XIII (Santé publique – Epidémiologie - Environnement)

Irradiation médicale, déchets, désinformation : un avis de l'Académie de médecine

Medical irradiation, radioactive waste and disinformation. A press release from the French Academy of Medicine

Guy de THÉ et Maurice TUBIANA*

L'Académie de médecine, préoccupée par les problèmes que posent à l'opinion l'irradiation médicale, les déchets radioactifs et certaines informations erronées que ces sujets suscitent, estime utile de donner un avis fondé sur des données objectives.

L'homme est exposé aux rayonnements ionisants

Depuis les origines, la vie s'est développée dans un bain de rayonnements ionisants auxquels elle s'est adaptée. Ces rayonnements ont une origine cosmique ou proviennent de la croûte terrestre où, depuis la création de la terre, demeurent les isotopes instables d'éléments de très longues demi-vies physiques : thorium, uranium, potassium, rubidium. Il en résulte une exposition naturelle externe et interne comportant différents types de rayonnements.

La présence de radionucléides dans l'environnement de l'homme aboutit à une radioactivité moyenne d'environ 10.000 Bq (0,2 mSv)¹ dans le corps humain, essentiellement due aux carbone 14 et potassium 40 soumis aux mécanismes homéostatiques conditionnant les activités cellulaires K dépendantes. L'exposition moyenne continue de l'homme aux sources naturelles est évaluée à 2,4 mSv par an en dose efficace. Il existe cependant des variations importantes en fonction de l'altitude et de la nature des sols, allant de 1 à 10 mSv, et atteignant 100 mSv dans de larges régions comme le Kerala en Inde ou la ville de Ramsar en Iran (1). Ces variations naturelles ont des composantes multiples incluant des émetteurs internes à tropisme pulmonaire comme le radon, rénal comme l'uranium, osseux comme le radium, et osseux, hépatique et systémique phagocytaire comme le thorium dont le comportement et les caractéristiques radiologiques sont voisins de ceux du plutonium.

A l'irradiation naturelle s'est ajoutée, depuis la fin du XIX^{ème} siècle, une irradiation médicale diagnostique délivrant en moyenne 1 mSv par an mais avec des variations allant de moins de 1 mSv à plus de 20 mSv par an.

Enfin depuis 1950, il faut ajouter des irradiations d'origine industrielle - notamment celle liée à la production d'électricité par énergie nucléaire (extraction et traitement de l'uranium, fonctionnement des réacteurs, rejets et déchets) correspondant à une exposition de l'ordre de 0,01 à 0,02 mSv par an - et celles des autres sources naturelles dont le charbon à 0,01 mSv par an. Par ailleurs les

* Groupe de rédaction, G. de Thé, A. Aurengo, R. Masse, M. Tubiana.

¹ La définition des unités et des sigles est reportée dans le glossaire en fin de texte. Sauf indication contraire les doses exprimées en Sv représentent des doses efficaces.

essais nucléaires en atmosphère contribuent à une exposition moyenne de 0,005 mSv/an et l'accident de Tchernobyl à 0,002 mSv/an [1].

A dose égale, les effets biologiques des différents types de rayonnements ionisants sont identiques que leur origine soit naturelle ou artificielle.

L'exposition des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (200.000 en France dont plus de la moitié dans le secteur médical) aboutit en France à une exposition moyenne de 2 mSv par an (OPRI rapport annuel) avec moins de 1% dépassant la limite réglementaire moyenne de 20 mSv par an. A l'exception des irradiations diagnostiques, ces expositions sont caractérisées par de faibles débits de dose, proches d'irradiations à caractère continu. Cet aspect les distingue nettement des irradiations accidentelles et thérapeutiques qui s'effectuent à fort débit, conduisant à l'accumulation instantanée de lésions moléculaires qui perturbent les mécanismes cellulaires de réparation constitutifs, à partir de quelques mGy absorbés en quelques minutes [2].

Les programmes de démantèlement des centrales nucléaires² et les programmes de transport, de stockage et d'entreposage des déchets sont des activités qui conduisent à de faibles augmentations des doses délivrées aux populations à très faibles débits de dose [1](de l'ordre de 0,005 μ Sv [1] par an pour l'iode 129 par exemple), essentiellement par le transfert dans la chaîne alimentaire de divers radionucléides ayant tous une très longue demi-vie, aboutissant soit à une exposition homogène du corps entier, comme dans le cas du potassium 40 naturel, soit à une exposition hétérogène où dominant l'exposition du tube digestif, de l'os, du foie et du rein, comme dans le cas des isotopes naturels de l'uranium et du thorium. Il est donc légitime d'évaluer les risques de ces pratiques en fonction de ce que l'on sait résulter des expositions naturelles élevées auxquelles sont soumises des populations de plusieurs millions de résidents

Les conséquences sanitaires de l'exposition de l'homme à quelques mSv

S'il existe des données [3] établissant que l'exposition naturelle élevée est associée chez l'adulte à un taux accru d'aberrations chromosomiques des lymphocytes circulants, indicateur d'exposition, on n'a détecté aucune augmentation globale du risque de cancer [4] ni augmentation des malformations congénitales [5], ni anomalies cytogénétiques induites chez les nouveau-nés [6] dans la population bien surveillée du Kerala en Inde particulièrement exposée à l'irradiation externe et à la contamination par le thorium. Des conclusions identiques sont obtenues dans les populations chinoises exposées [7-8]. Enfin comme le remarque le NCRP aux Etats-Unis [9] : *« Il est important de remarquer que l'incidence des cancers dans la plupart des populations exposées à de faibles suppléments de doses de radiation n'a pas été trouvée augmentée et que dans la plupart des cas, cette incidence semble avoir été réduite ».*

L'hypothèse d'un risque cancérigène induit par de faibles doses et débits de dose est fondée sur l'extrapolation de données obtenues pour des groupes humains fortement exposés, postulant que le risque global est constamment proportionnel à la dose reçue sans être limité par un seuil. Cette hypothèse se heurte à de nombreuses objections scientifiques [10] et est contredite par les données expérimentales [11] et épidémiologiques. Dans les groupes ayant reçu plus de 200 mSv chez l'adulte et 100 mSv chez l'enfant, une augmentation des cancers a été observée : survivants de Hiroshima et Nagasaki, patients irradiés, travailleurs du nucléaire, populations de l'Oural contaminées par les déchets nucléaires. On n'a pas observé d'excès de cancers pour les doses inférieures, un doute demeure toutefois dans le cas d'irradiation pour radiographie in utero à partir de 10 mSv car les données épidémiologiques sont contradictoires (12). Ceci ne permet pas

² Dans l'hypothèse d'un démantèlement après refroidissement du cœur du réacteur.

d'exclure l'existence d'un effet pour des doses inférieures en raison des limites de précision statistiques. Néanmoins il faut rappeler que la théorie linéaire sans seuil est contredite par l'observation des cancers osseux induits par le radium 226 et des cancers du foie induits par le Thorotrast, qu'elle n'est pas compatible avec leucémies induites à Hiroshima et chez les patients traités par l'iode radioactif (1,10,12,14). Par ailleurs l'étude épidémiologique historique des radiologues britanniques pour la période 1897-1997 (15) vient d'établir que pour les radiologues inscrits après 1954 il n'existe pas de d'excès de cancers chez ces praticiens par rapport à leurs confrères non radiologues, la tendance conduisant plutôt à un déficit, comme dans le cas des populations envisagées par le NCRP (9). Il en est de même pour de nombreux groupes de travailleurs professionnels exposés aux rayonnements ionisants notamment les manipulateurs de radiologie : alors que la fréquence des cancers était augmentée chez eux pendant la période où aucune mesure de radioprotection n'était prise, les excès de cancers ont disparu quand les doses ont été réduites aux normes (50 mSv/an) en vigueur jusqu'en 1990 (12). Par ailleurs, aucune modification du sex-ratio n'a été observée chez les 46 000 enfants nés de père travaillant dans l'industrie nucléaire britannique (13).

Ces observations, associées aux données biologiques récentes, montrant la complexité et la diversité des mécanismes moléculaires et cellulaires qui contrôlent la survie cellulaire et la mutagenèse en fonction de la dose et du débit de dose [1,2,12,14,20], ôtent toute rationalité scientifique à une extrapolation linéaire qui surévalue très largement les effets des faibles doses et des faibles débits de dose. On ne peut pas additionner les expositions de quelques mSv/an, et *a fortiori* de 0,02 mSv/an, délivrées à un grand nombre d'individus (pratique de la dose collective) pour estimer le risque d'excès de cancers. L'Académie de médecine, rejoignant la position des grandes institutions internationales voudrait fermement rappeler que de tels calculs n'ont aucune validité scientifique notamment pour évaluer les risques associés à des irradiations telles que celles provoquées en dehors de l'ex-URSS par les retombées de Tchernobyl [16, 22].

Le rapport UNSCEAR 2000 et la controverse avec l'OCHA

La catastrophe de Tchernobyl a provoqué à ce jour environ 2.000 cancers de la thyroïde chez les enfants, avec à ce jour une dizaine de décès, essentiellement par exposition à l'iode 131 et aux isotopes de l'iode de période courte. Les doses délivrées à la thyroïde étaient en moyenne de l'ordre de 1 Gy et 3 Gy en moyenne dans les régions les plus exposées [17]. Cet effet cancérigène est donc en accord avec l'ensemble de nos connaissances. Aucune augmentation des affections thyroïdiennes qui puisse être imputée aux retombées de Tchernobyl, n'a été constatée en dehors de l'URSS, par exemple en Pologne ou dans les autres pays limitrophes.

En 2000 l'UNSCEAR a conclu à l'absence d'excès de leucémies et de cancers autres que celui de la thyroïde dans la population autour de Tchernobyl ; il n'a pas retenu non plus de relation entre les expositions aux rayonnements et les malformations congénitales dans ces populations [1] Cette conclusion avait été mise en doute en 2001 par l'OCHA, organisme humanitaire de l'ONU mais la publication de l'OCHA a suscité une réponse du comité l'UNSCEAR qui seul a la compétence médicale et scientifique pour parler au nom de l'ONU et de l'OMS sur ce sujet [18]. Une conférence a donc réuni à Kiev en juin 2001, l'OMS, l'OCHA, l'UNSCEAR, l'ICRP et l'AIEA et les conclusions en ont été publiées (17). Bien que la situation sanitaire soit alarmante en raison de la détérioration générale des conditions sanitaires et sociales, notamment en Belarus, ces observations ne contredisent pas les conclusions de l'UNSCEAR car, cette détérioration semble être liée aux conditions de vie des populations déplacées, ainsi qu'à des facteurs psycho-sociologiques. Différentes questions ont été soulevées qui font apparaître la nécessité de

recherches sur l'épidémiologie des situations de catastrophe comportant de multiples facteurs susceptibles d'altérer la santé des populations : c'est ce que recommande la conférence de Kiev (17).

Il est possible de réduire l'exposition humaine aux rayonnements ionisants, en particulier d'origine médicale, ceci nécessite des moyens.

Les examens radiologiques représentent, de très loin, la principale cause d'irradiation d'origine humaine (dose efficace environ 1 mSv/an en France). La récente directive 97/43 de l'Union européenne introduit, à ce sujet, deux notions capitales : l'optimisation (réduire autant que possible la dose par examen) et la justification (évaluer le bénéfice et le risque de chaque examen et ne le pratiquer que s'il est avantageux). Ces principes nécessitent donc l'évaluation des doses efficaces reçues par le sujet examiné et les risques afférents. Or, selon les examens et les techniques utilisées, les doses efficaces varient d'une fraction de mSv à plusieurs dizaines de mSv (examen au scanner ou radiologie interventionnelle) et les risques varient très largement selon l'âge. Une surévaluation des risques pourrait priver un enfant d'un examen utile, inversement une sous-évaluation pourrait favoriser la multiplication d'actes radiologiques peu utiles. L'Académie conseille donc dans une première étape :

- de s'attacher à l'étude et à l'évaluation des examens dont les risques potentiels sont les plus grands : scanners chez les sujets jeunes, multiplication des examens radiologiques chez les prématurés, radiologie interventionnelle,
- de promouvoir les techniques susceptibles de réduire ou de supprimer l'irradiation sans nuire à la qualité de l'information clinique et de stimuler les recherches techniques et fondamentales dans ce domaine,
- d'effectuer des études épidémiologiques sur des groupes de patients, notamment d'enfants, ayant reçu des doses les plus importantes du fait des examens radiologiques,
- de favoriser la formation initiale et permanente des cliniciens en matière de radioprotection.

Il est inadmissible, alors que l'irradiation d'origine médicale représente en France 95 % de l'irradiation ajoutée à l'irradiation naturelle, que si peu de moyens soient consacrés à sa réduction tandis que la radioprotection en milieu industriel bénéficie de crédits élevés.

Il est souhaitable de définir les priorités sanitaires en matière de déchets

En dehors de ce contexte quelques recommandations peuvent être faites concernant la problématique des déchets en matière de santé. Il paraît indispensable de soutenir l'effort épidémiologique portant sur les populations exposées naturellement à un niveau élevé, de même que sur celles portant sur les populations de l'ex Union Soviétique massivement exposées aux déchets nucléaires et aux autres polluants.

Dans le cadre des études des dangers liés aux déchets, les isotopes à prendre en compte prioritairement devraient faire l'objet d'un inventaire non en fonction de la dose collective qui en résulterait mais en fonction des doses individuelles potentielles, car les doses collectives calculées à partir de doses individuelles inférieures à quelques microsievverts ne peuvent avoir aucune signification sanitaire.

Un effort national significatif devrait être entrepris, comme celui effectué dans le cadre d'un programme du DOE aux Etats Unis, sur les mécanismes biologiques impliqués dans la réponse cellulaire au dessous de 100 mSv, en particulier pour ce qui concerne la réparation de l'ADN, la signalisation cellulaire et la transmission dans la descendance de séquences codantes et non codantes d'ADN parental modifiées par l'irradiation.

RECOMMANDATIONS

L'Académie de Médecine

- recommande d'accentuer l'effort de radioprotection dans le domaine des examens radiologiques, d'une part pour réduire les doses reçues au cours de certains examens (scanner chez l'enfant, radiologie interventionnelle, clichés pulmonaires chez les prématurés etc.) et d'autre part pour permettre aux services de radiologie, notamment en radiopédiatrie, de pouvoir recourir au concours d'un personnel compétent en dosimétrie et capable de d'assurer le contrôle de qualité des appareillages, comme cela a été fait pour les mammographes utilisés pour le dépistage des cancers du sein. Elle recommande également pour réduire les doses reçues par les sujets examinés de soutenir la recherche technique et clinique en ce domaine et de développer la formation.
- recommande un effort de recherche fondamentale - sur les mécanismes biologiques mis en œuvre par la réparation des lésions de l'ADN après des doses inférieures à 100 mSv - et sur les effets de ces doses sur les échanges de signaux moléculaires intra et intercellulaires.
- dénonce l'utilisation de la relation linéaire sans seuil pour estimer l'effet de doses inférieures à quelques mSv (de l'ordre de grandeur des variations de l'irradiation naturelle en France) et *a fortiori* des doses cent fois inférieures, telles que celles liées aux déchets radioactifs, ou 20 fois inférieures comme celles imputables en France aux retombées radioactives consécutives à l'accident de Tchernobyl. Elle s'associe à de nombreuses institutions internationales pour dénoncer l'utilisation abusive du concept de la dose collective à cette fin, ces procédures n'ayant aucune validité scientifique, même si elles paraissent être commodes à des fins administratives.
- souscrit aux conclusions du rapport 2000 du Comité Scientifique des Nations Unies (UNSCEAR) en matière d'analyse des conséquences sanitaires de l'Accident de Tchernobyl et dénonce la propagation d'allégations selon lesquelles les retombées radioactives auraient entraîné une augmentation des cancers autres que celui de la thyroïde ainsi que des excès de malformations congénitales.
- recommande l'introduction du DARI comme sous unité pratique de dose équivalente (Le Dari est la Dose reçue par l'organisme humain en un an du fait de la Radioactivité naturelle Incorporée, essentiellement potassium 40 et carbone 14). Cette dose, égale à 0,2 mSv, a l'avantage d'être à peu près constante quelle que soit la corpulence de l'individu et la région géographique.
- L'Académie de médecine conformément à l'avis qu'elle avait donné le 3 octobre 2000 [21] rappelle qu'elle recommande la transposition sans modification de la directive européenne concernant la dose limite (100 mSv/an). Lui substituer une dose limite de 20 mSv réduirait la flexibilité de la norme européenne, tout en n'apportant aucune avantage sanitaire, et nuirait au fonctionnement des services de radiologie médicale en rendant plus difficile la mise au point de nouvelles techniques.

L'Académie, saisie dans sa séance du mardi 4 décembre 2001, a adopté le texte de ce communiqué à l'unanimité.

MOTS-CLÉS : IRRADIATION MÉDICALE. IRRADIATION NATURELLE. DÉCHETS RADIOACTIFS. DÉMANTÈLEMENT DES CENTRALES NUCLÉAIRES. UNSCEAR. OCHA.

KEY-WORDS (Index Medicus) : MEDICAL IRRADIATION. NATURAL IRRADIATION. RADIOACTIVE WASTE. NUCLEAR PLANTS. UNSCEAR. OCHA.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] UNSCEAR : Sources and effects of ionizing radiation, Report to the general assembly with annexes, United Nations 2000.
- [2] FEINENDEGEN L., POLLYCOVE M.- Biologic response to low doses of ionizing radiation : detriment versus hormesis. *J. Nuclear Medicine*, 2001, 42, 7, 17N-27N et 26N – 37N.
- [3] BEIR V.- Committee on the biological effects of ionizing radiations. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiations. US National Academy of sciences, NRC, Washington, 1990.
- [4] NAIR M.K., NAMBI K.S., AMMA N.S., GANGADHARAN P., JAYALEKSHMI P., JAYADEVAN S., CHERIAN V., REGHURAM K.N.- Population study in the high natural background radiation area of Kerala, India. *Radiat Res*, 1999, 152, 145-148S.
- [5] JAIKRISHNAN J. et al.- Genetic monitoring of the human population from high level natural radiation areas of Kerala on the southwest coast of India. Prevalence of congenital malformations in newborns. *Radiat Res*, 1999, 152, 149-153S.
- [6] CHERYAN V.D. et al.- Genetic monitoring of the human population from from high level natural radiation areas of Kerala on the southwest coast of India incidence of numerical and structural chromosomal aberrations in the lymphocytes of newborns. *Radiat Res*, 1999, 152, 154-158S.
- [7] TAO Z.J.- *Radiat Res* (Tokyo), 2000, 41 Suppl:31-4.
- [8] WEI L.X., SUGAHARA T.- High background radiation area in china. *J. Rad. Research* (Tokyo), 2000, 41, suppl. 1-76.
- [9] National Council on radiation protection on measurements – Evaluation of the linear – Non threshold model for ionizing radiation – NCRP report 136, Bethesda 2001.
- [10] Académie des Sciences – Problèmes liés aux effets des faibles doses de radiations ionisantes. Rapport 34, oct 1995.
- [11] TANOOKA H.- Threshold dose-reponse in radiation carcinogenesis, an approach from chronic irradiation and a review of non-tumour doses. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2001, 77, 541-551.
- [12] IARC 2000.- Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human, vol 75, Ionizing radiation - IARC, Lyon, France.
- [13] MACONOCHIE N., ROMAN E., DOYLE P., DAVIES G., SMITH P.G., BERAL V.- Sex ratio of nuclear industry employees'children. *Lancet*, 2001, 357, 1589-1591.
- [14] Académie des Sciences – Colloque Risques cancérigènes dus aux rayonnements ionisants – Comptes-Rendus Académie des Sciences, Série III, 322, 81-256, 1999
- [15] BERRINGTON A., DARBY S.C., WEISS H.A., DOLL R.- 100 years of observation on British radiologists mortality from cancer and other causes 1897-1997. *British Journal of Radiology*, 2001, 74, 507-519.
- [16] Colloque de Warrenton : Bridging radiation policy and science (K.L. Mossman et al edit) 2000.
- [17] AIEA, document de synthèse Belarus, Ukrainien et Russe 2001 : Health effects of the Tchernobyl accident.

- [18] HOLM L.E. (UNSCEAR Chairman).- Chernobyl effects. *Lancet*, 2000, 356, 344.
- [19] Directive européenne 97/43 sur les examens radiologiques, 1997.
- [20] Avis Académie Nationale de Médecine – Energie nucléaire et santé. *Bull. Acad. Natle Med.*, 1999, 183, 1233-1246.
- [21] THÉ G. (de).- Communiqué sur la radioprotection. *Bull Acad. Natle Med.*, 2000, 184, 1571-1573.
- [22] AEN - OCDE.- Comité CRPRH - Rapport sur la radioprotection. Paris 2000.

ANNEXE 1

GLOSSAIRE

Bq ou becquerel, la radioactivité caractérisée par une désintégration par seconde. Dans le corps humain 10.000 Bq de radioéléments naturels délivrent une dose de **1 DARI** qui est égale à une dose équivalente de 0,2 mSv.

Gy ou gray, la dose absorbée correspondant à 1Joule par kg.

Sv ou sievert, est l'unité de **dose équivalente** obtenue en faisant le produit de la dose absorbée par le coefficient de pondération propre aux rayonnements (1 : pour les rayonnements X, bêta et gamma ... 20 : pour les alpha). La **dose efficace** est le produit de la dose équivalente par le coefficient de pondération propre aux tissus (0,05 pour la thyroïde... 1 pour le corps entier) ; elle est donc le résultat d'une double pondération ; l'équivalent du DARI en dose efficace est également fixé à 0,2 mSv, l'essentiel de la dose étant réparti de manière homogène dans tout l'organisme.

AEN - OCDE - Agence de l'Energie Nucléaire de l'Organisation de Coopération pour le Développement Economique.

AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique

DARI : Dose annuelle de radioactivité incorporée, recommandation de G. Charpak.

DOE : Department of Energy US

ICRP : International Commission on Radiation Protection

NCRP : National Commission on Radiation protection (USA)

OCHA : Office for the co-ordination of humanitarian affairs

OMS : Organisation mondiale de la Santé

UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation