

Le collectif "**Nucléaire et santé-IndependentWHO** (Pour l'indépendance de l'OMS)", qui milite pour la révision de l'accord de 1959 entre l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) et l'OMS (Organisation Mondiale de la santé), accord subordonnant l'OMS à l'AIEA, communique :

L'article de Sylvestre Huet paru dans Libération du Vendredi 8 Février 2013, page 38 "Les risques des radiations sont fonction de facteurs individuels" appelle plusieurs remarques.

"La question d'un "seuil" en dessous duquel la radiation serait inoffensive reste ouverte. L'hypothèse est logique, mais sa démonstration quasi impossible".

Et bien NON, la question n'est PAS ouverte, l'hypothèse est fautive, il y a été répondu très clairement depuis des années : **il n'y a pas de seuil**. La CIPR l'a admis. La communauté scientifique mondiale et les gouvernants en ont pris acte, les français, avec beaucoup de retard (vers 2000).

La CIPR (émanation de l'industrie nucléaire) a publié dans son rapport 1990 : "**Il n'y a pas de seuil en dessous duquel il n'y a aucun effet**" (Art.21, 62,68,69,100). "**Le rayonnement naturel n'est pas inoffensif [...]. L'irradiation naturelle ne fournit aucune justification pour réduire l'attention [...] aux sources artificielles**" (Art. 140).

En 1990 le risque cancérigène **mortel** du rayonnement (les cancers "non mortels" ne sont pas pris en compte!) passe de $1,12 \times 10^{-2}$ /Sv [valeur de 1977] à 5×10^{-2} /Sv en 1990 pour la population (pour 10 mSv pour 1 million de personnes, il en résulte 500 cancers mortels). Pour le public, **dès 1985, la CIPR recommandait** une limite de dose annuelle de **1 mSv/an**. Pour la CIPR cette limite de dose n'implique pas qu'en dessous il n'y a aucun risque (Art. 124)

Les preuves s'accumulent depuis le début des années 1980 :

En 1974 le Département de la Santé de l'État de Washington avait montré que les employés de l'usine nucléaire de Hanford avaient un excès de mortalité par cancers de 25 % par rapport à des employés d'autres professions.

Le travail d'analyse des données de mortalité des travailleurs de l'usine nucléaire de Hanford par l'équipe de Mancuso, publié en 1976, a montré un effet cancérigène pour des doses bien inférieures à celles recommandées. Les articles du travail de Mancuso :

- Mancuso, T.F., Stewart, A.M. and Kneale, G.W., (1976), Radiation Exposures of Hanford Workers dying from various causes, *10th Midyear Topical Symposium of the Health Physics Society, Proc. of papers presented at Saratoga Spring*, 204-230, Rensselaer Polytechnic Inst. Troy, NY. 12181.
- Mancuso, T.F., Stewart, A.M. and Kneale, G.W., (1977), Hanford I: Radiation Exposures of Hanford Workers dying from Cancer and Other Causes, *Health Physics*, 33, 369-384.
- Kneale, G.W., Mancuso, T.F. and Stewart, A.M., (1978), Reanalysis of Data relating to the Hanford Study of the Cancer Risks of Radiation Workers - Hanford IIA, in *Late Biological Effects of Ionizing Radiation*, 1, 387-410, IAEA.
- Stewart, A.M., Kneale, G.W. and Mancuso, T.F., (1980), Hanford IIB: The Hanford Data - A Reply to Recent Criticisms, *Ambio*, 9, 66-73.
- Kneale, G.W., Mancuso, T.F. and Stewart, A.M., (in press 1981), A Cohort Study of the Cancer Risks from Radiation to Workers At Hanford (1944 to 1977 deaths) by the Method of Regression Models in Life-Tables, *Brit. J. Indus. Med.*

De nombreuses études ont été faites sur la radioactivité naturelle, prouvant ses effets sur la santé, même à très faibles doses. Citons :

- Ujeno. Y. (1978) Carcinogenic Hazard from Natural background Radiation in Japan, *J. Rad. Res.*, 19, 205-212
- Sakka M., Background Radiation and childhood cancer mortality, University of Tohoku, University school of medicine
- GM Kendall¹, MP Little², R Wakeford³, KJ Bunch¹, JCH Miles^{4,6}, TJ Vincent¹, JR Mearas⁵ and MFG Murphy^{1-A} record-based case-control study of natural background radiation and the incidence of childhood leukaemia and other cancers in Great Britain during 1980-2006-Leukemia (2012), 1-7-sur :www.nature.com/leu

- Une excellente présentation de l'article précédent à l'intention des journalistes http://www.ox.ac.uk/media/news_releases_for_journalists/120611.html
Quelques phrases tirées de cette présentation : **L'exposition naturelle aux rayons gamma du rayonnement de fond liée à la leucémie infantile-11 Juin 2012**

Les résultats démontrent qu'il y a des petits effets des rayonnements à des doses très faibles. Un lien faible mais statistiquement significatif entre le risque de leucémie infantile et les rayons gamma auxquels nous sommes tous exposés à partir de notre environnement naturel, a été détecté dans cette étude dirigée par l'université d'Oxford. Les résultats de l'étude contredisent l'idée selon laquelle il n'y a pas d'effets nocifs des rayonnements, ou peut-être même des effets bénéfiques, à ces très faibles débits de dose.

- Burlakova, E.B., Goloshchapov, A.N., et al., New Aspects of Regularities in the Action of Low Doses of Low-Level Irradiation, pp. 1-14 in Low Doses of Radiation: Are They Dangerous?, Nova Science Publishers, Inc., USA, N.-Y., 2000, p. 329.
- Møller A. & Mousseau T., The effects of natural variation in background radioactivity on humans, animals and other organisms, *Biological Reviews* (2012) 000–000 © 2012 The Authors. Biological Reviews © 2012 Cambridge Philosophical Society : ce travail récent est une méta-analyse de 46 publications sur les effets de la radioactivité naturelle. Ci-dessous : la première page de cet article, et une présentation **en français** par une revue scientifique.

The effects of natural variation in background radioactivity on humans, animals and other organisms

Anders P. Møller^{1,*} and Timothy A. Mousseau²

¹Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, CNRS UMR 8079, Université Paris-Sud, Bâtiment 362, F-91405, Orsay Cedex, France

²Department of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA

ABSTRACT

Natural levels of radioactivity on the Earth vary by more than a thousand-fold; this spatial heterogeneity may suffice to create heterogeneous effects on physiology, mutation and selection. We review the literature on the relationship between variation in natural levels of radioactivity and evolution. First, we consider the effects of natural levels of radiation on mutations, DNA repair and genetics. A total of 46 studies with 373 effect size estimates revealed a small, but highly significant mean effect that was independent of adjustment for publication bias. Second, we found different mean effect sizes when studies were based on broad categories like physiology, immunology and disease frequency; mean weighted effect sizes were larger for studies of plants than animals, and larger in studies conducted in areas with higher levels of radiation. Third, these negative effects of radiation on mutations, immunology and life history are inconsistent with a general role of hormetic positive effects of radiation on living organisms. Fourth, we reviewed studies of radiation resistance among taxa. These

Les effets des variations naturelles de la radioactivité de fond sur les humains, animaux et d'autres organismes

Anders P. Møller^{1,*} et Timothy A. Mousseau²

¹Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, CNRS UMR 8079, Université Paris-Sud, Bâtiment 362, F-91405, Orsay Cedex, France

²Department of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA

RESUME

Les niveaux naturels de radioactivité sur la Terre varient de plus qu'un millier de fois; cette hétérogénéité spatiale peut suffire pour créer des effets hétérogènes sur la physiologie, les mutations et la sélection. Nous passons en revue la littérature sur la relation entre la variation dans les niveaux naturels de radioactivité et l'évolution. D'abord, nous considérons les effets des niveaux naturels de radiation sur des mutations, la réparation d'ADN et la génétique. Un total de 46 études avec 373 évaluations de taille d'effet a révélé un effet moyen petit, mais fortement significatif qui était indépendant d'ajustement de biais pour publication. Deuxièmement, nous avons trouvé des tailles d'effet moyennes différentes quand les études ont été basées sur de larges catégories comme la physiologie, l'immunologie et la fréquence de maladie; des tailles d'effet pondérées moyennes étaient plus grandes pour les études sur les plantes que pour les animaux et plus grandes dans des études conduites dans des zones avec les niveaux plus élevés de radiation. Troisièmement, ces effets négatifs des radiations sur les mutations, l'immunologie et l'histoire de la vie sont contradictoires avec un rôle général des effets positifs [de type] hormesis des radiations sur les organismes vivants. Quatrièmement, nous avons

studies suggest that current levels of natural radioactivity may affect mutational input and thereby the genetic constitution and composition of natural populations. Susceptibility to radiation varied among taxa, and several studies provided evidence of differences in susceptibility among populations or strains. Crucially, however, these studies are few and scattered, suggesting that a concerted effort to address this lack of research should be made.

Key words: adaptation, cancer, disease, DNA repair, hormesis, mutation, radioactivity, radio-resistance, radio-tolerance

passé en revue les études de résistance aux radiations parmi les taxa. Ces études suggèrent que les niveaux actuels de radioactivité naturelle puissent affecter les données de mutations et ainsi la constitution génétique et la composition des populations naturelles. La sensibilité aux radiations varie parmi les taxa et plusieurs études ont fourni la preuve de différences de sensibilité parmi des populations ou des souches. D'une façon cruciale, cependant, ces études sont peu nombreuses et dispersées, suggérant qu'un effort concerté pour remédier à ce manque de recherche doit être fait.

Mots clés : adaptation, cancer, maladie, réparation de l'ADN, hormesis, mutation, radioactivité, radio-résistance, radio-tolérance

<http://www.sciencedaily.com/releases/2012/11/121113134224.htm>

Radiation Science Daily (13 novembre 2012)

Même les plus petites doses de radioactivité sont dangereuses pour la vie, ont conclu les scientifiques dans le magazine "Études biologiques" de la Société Philosophique de Cambridge. Présentant les résultats d'une vaste analyse de 46 études revues par leurs pairs, publiées dans les 40 dernières années, des chercheurs de l'Université de Caroline du Sud et de l'université de Paris-Sud ont trouvé que la variation de faible niveau de la radioactivité naturelle avait de petits, mais statistiquement significatifs, effets négatifs sur l'ADN en plus de divers effets sur la santé.

L'étude est une méta-analyse d'études de lieux dans le monde entier, dont Ramsar (Iran), Mombasa (Kenya), Lodeve (France) et Yangjiang (Chine) qui ont des niveaux très élevés de radioactivité naturelle, due aux minéraux qui se trouvent dans le sol. L'existence de tels lieux et de quelques autres localisations géographiques dont la radioactivité naturelle dépasse largement les quantités normales, ont depuis longtemps incité les scientifiques à comprendre les effets de la radioactivité sur la vie.

Cependant des études individuelles, par elles-mêmes, ont seulement montré de petits effets sur un petit nombre de personnes et il est difficile d'en tirer des conclusions statistiques définitives.

« Lorsque vous regardez de telles petites tailles d'effet, la taille de la population nécessaire est immense », dit le co-auteur Timothy Mousseau, un biologiste au Collège des Arts et des Sciences de l'Université de Caroline du Sud. *« En croisant de multiples études, dans de multiples territoires, et selon une méthode statistique rigoureuse, on obtient un outil qui s'attaque vraiment à ces questions de faible niveau de radioactivité. »*

Mousseau et son co-auteur Anders Møller de l'Université de Paris-Sud ont passé la littérature scientifique au peigne fin, examinant plus de 5 000 documents sur la radioactivité naturelle, réduits à 46 pour une comparaison quantitative. Toutes les études sélectionnées examinaient à la fois un groupe de contrôle et une population plus fortement irradiée et quantifiaient l'ampleur des niveaux de radioactivité pour chacun. Chaque document contenait aussi des tests statistiques permettant des comparaisons directes entre les études.

Les organismes étudiés comprenaient des plantes et des animaux, mais les sujets humains étaient largement prépondérants. Dans chaque étude, un ou plusieurs effets possibles de la radioactivité étaient examinés, tels que d'atteinte à l'ADN mesurée en laboratoire, la fréquence de maladies comme le syndrome de Down (trisomie 21), ou le

sexe ratio de la descendance. Pour chaque effet, un algorithme statistique était utilisé pour créer une valeur unique, la taille d'effet, qui pourrait être comparée dans toutes les études. Les scientifiques ont relevé des effets négatifs significatifs dans un éventail de catégories, dont l'immunologie, la physiologie, le nombre de mutations et de maladies. La fréquence de ces effets négatifs était supérieure à leur probabilité.

« Parce que nous ne voyions pas les effets dans certains endroits ou que ce que nous voyions était plutôt petit et localisé, la communauté scientifique a eu le sentiment que les faibles niveaux de radioactivité ne produisaient peut-être pas d'effets négatifs », a dit Mousseau. « Mais lorsqu'on fait une méta-analyse, on voit vraiment des effets négatifs significatifs. »

« Cela fournit aussi la preuve qu'il n'y a pas de seuil en-dessous duquel la radioactivité n'a pas d'effets. » ajoute-t-il. *« Une théorie qui a été largement rebattue depuis les deux dernières décennies est l'idée qu'il existe un seuil d'exposition en-dessous duquel il n'y a pas de conséquences négatives. Ces données fournissent des preuves suffisantes qu'un tel seuil n'existe pas – les effets de la radioactivité sont mesurables au niveau le plus bas que l'on puisse atteindre, étant donné la puissance statistique de ce que nous détenons. »*

Mousseau espère que leurs résultats, qui sont cohérents avec le modèle « linéaire sans seuil » pour les effets de la radioactivité, apporteront une meilleure information au débat sur les risques d'exposition. « Avec les niveaux de contamination dus aux centrales nucléaires, en particulier dans le passé, et même à la suite des accidents de Tchernobyl et Fukushima, l'industrie essaie de minimiser l'importance des doses que les populations ont reçues, parce qu'elles ne sont peut-être qu'une à deux fois plus élevées que ce qui est considéré comme le niveau de la radioactivité naturelle. » dit-il. « Mais ils présument que les niveaux de radioactivité naturelle sont sans danger ». « Et en vérité, si nous voyons des effets à ces faibles niveaux, nous devons alors réfléchir autrement aux règles que nous établissons pour les niveaux d'exposition, en particulier pour les expositions intentionnelles, telles que les émissions des centrales nucléaires, les procédures médicales, et même certaines machines à rayon X des aéroports. »

- Plus récemment une étude par une équipe de l' *International Agency for Research on Cancer* de Lyon (France), sur 400 000 travailleurs du nucléaires de 15 pays, a trouvé une augmentation de risque de cancer, liée à l'irradiation.

Réf. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17388693>

The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk among Radiation Workers in the Nuclear Industry: estimates of radiation-related cancer risks.

Summary : A 15-Country collaborative cohort study was conducted to provide direct estimates of cancer risk following protracted low doses of ionizing radiation. Analyses included 407,391 nuclear industry workers monitored individually for external radiation and 5.2 million person-years of follow-up. A significant association was seen between radiation dose and all-cause mortality [excess relative risk (ERR) 0.42 per Sv, 90% CI 0.07, 0.79; 18,993 deaths]. This was mainly attributable to a dose-related increase in all cancer mortality (ERR/Sv 0.97, 90% CI 0.28, 1.77; 5233 deaths). Among 31 specific types of malignancies studied, a significant association was found for **lung cancer** (ERR/Sv 1.86, 90% CI 0.49, 3.63; 1457

Résumé : Une étude de cohorte collaborative de 15 pays a été conduite pour fournir des évaluations directes de risque de cancer entraînés par des doses faibles et prolongées de radiations ionisantes. Les analyses ont inclus 407 391 travailleurs de l'industrie nucléaires contrôlés individuellement pour la radiation externe et 5,2 millions d'années de personne-suivi. Une association significative a été trouvée entre la dose de radiation et la mortalité par toute cause [l'Excès de Risque Relatif (ERR) par Sv était de 0.42, 90 % CI 0.07, 0.79; 18 993 morts] Ceci était principalement attribuable à une augmentation, liée à la dose, de la mortalité par tous les cancers (ERR/Sv 0.97, 90 % CI 0.28, 1.77; 5233 morts). Parmi 31 types spécifiques de maladies malignes étudiées, une association significative a été trouvée pour le **cancer du poumon** (ERR/Sv

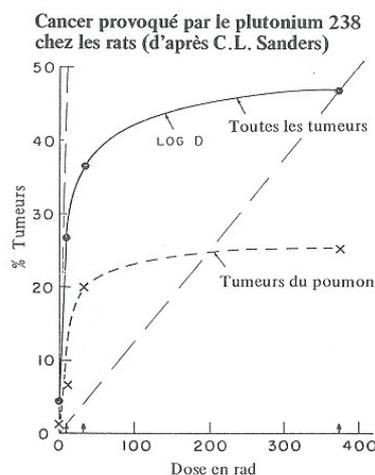
deaths) and a borderline significant ($P = 0.06$) association for **multiple myeloma** (ERR/Sv 6.15, 90% CI <0, 20.6; 83 deaths) and ill-defined and secondary cancers (ERR/Sv 1.96, 90% CI -0.26, 5.90; 328 deaths). Stratification on duration of employment had a large effect on the ERR/Sv, reflecting a strong healthy worker survivor effect in these cohorts. This is the largest analytical epidemiological study of the effects of low-dose protracted exposures to ionizing radiation to date. Further studies will be important to better assess the role of tobacco and other occupational exposures in our risk estimates.

1.86, 90 % CI 0.49, 3.63; 1457 morts) et une association significativement limite ($P = 0.06$) pour le **myélome multiple** (ERR/Sv 6.15, 90 % CI < 0, 20.6; 83 morts) et les cancers définis comme secondaires [*c à d métastasés. note du trad.*] (ERR/Sv 1.96, 90 % CI -0.26, 5.90; 328 morts). La stratification par la durée d'emploi avait un grand effet sur l'ERR/SV, reflétant un fort effet de survivant de travailleur sain dans ces cohortes. Ceci est la plus grande étude épidémiologique analytique des effets d'expositions prolongées à de faibles doses de radiations ionisantes jusqu'à présent. De nouvelles études seront importantes pour mieux évaluer le rôle de tabac et d'autres expositions professionnelles dans nos évaluations de risque.

Le journaliste poursuit " Par précaution, les normes de radioprotection extrapolent aux faibles doses des risques connus aux doses plus fortes."

Cette "extrapolation" est fort discutable. En effet pour les tumeurs expérimentales du rat après inhalation de plutonium, on a la courbe suivante :

On voit bien ici que les courbes de tumeurs (poumon ou toutes tumeurs), ne sont absolument pas linéaires. On a une montée rapide de l'effet cancérigène, suivie d'un plateau. L'extrapolation (ligne traitillée) **sous-estime** très largement les risques de tumeurs. Sanders C.I. "Carcinogenicity of inhaled plutonium-238 in the rat". in : *Radiation Research*, 56, 1973, S. 973.



Explication des effets de dose: La courbe tracée indique la dépendance de tous les cas de cancers en fonction de la dose appliquée. La courbe pointillée ne compte que les cancers du poumon. Remarquez la montée rapide sous l'effet des faibles doses, telle qu'on devrait l'espérer sous l'effet indirect d'une atteinte de membrane cellulaire. La courbe traitillée oblique indique le transfert linéaire de la dose élevée de 395 rad.

Les études scientifiques ont mis en évidence **plusieurs mécanismes s'opposant à l'hypothèse linéaire** et pouvant entrer en jeu pour entraîner des effets spécifiques aux faibles doses. En voici quelques-uns.

Citons d'abord l'effet Petkau du nom de son découvreur, le physicien nucléaire canadien A. Petkau, en 1972.

Irradiant sous l'eau des membranes cellulaires artificielles, Petkau constata que lorsque l'irradiation se passait pendant un laps de temps prolongé, les membranes se rompaient sous l'effet d'une doses bien plus faible que lorsque la doses était donnée pendant un laps de temps bref : lors d'une irradiation prolongée à 0,001 rad/minute, il suffisait de 0,7 rads pour la destruction, tandis que pour une irradiation rapide à 26 rad/minute il fallait 3500

rads pour détruire la membrane cellulaire.

Un tel phénomène (contrôlé depuis par d'autres chercheurs) trouve une explication dans le fait que l'irradiation entraîne l'hydrolyse de l'eau et la production de radicaux libres très toxiques pour les cellules : à faibles doses les radicaux libres sont peu nombreux et ne peuvent pas se recombinaison, donc l'effet est maximum tandis qu'à forte doses, il y a un grand nombre de radicaux libres qui apparaissent et ont la possibilité de se recombinaison, annulant les effets toxiques.

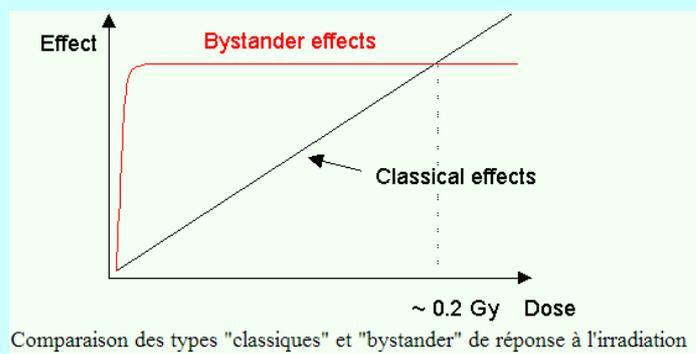
Voir :

- Petkau A., Radiation effects with a model lipid membrane, Canadian Journal of chemistry, Vol. 48 (1971) S. 1187-1196.
- Petkau A., (1972) Effect of Na-22 on a phospholipid membrane, Health Physics, 22 (3) 239-244.

L'effet Bystander est un effet surprenant des radiations : des dommages cellulaires induits par les radiations (échanges de chromatides sœurs, aberrations chromosomiques, apoptose, micronucléation, transformation, mutations et expression de gène), sont transmis aux cellules voisines **non irradiées**, qui présentent à leur tour les mêmes dommages. Plusieurs équipes ont démontré ce phénomène.

Un article récent (Zhou *et coll*, 2000) a démontré que les cellules, irradiées par un micro-faisceau précis de particules alpha, pouvaient induire un effet mutagène de proximité dans les cellules voisines non directement traversées et que le processus de communication de cellule à cellule a un rôle critique dans la médiation de l'effet bystander.

L'irradiation, avec 20 particules alpha pour chacune, de 20% de cellules hybrides humain-hamster aléatoirement choisies, a comme conséquence une fraction de mutants qui est 3 fois plus élevée que prévue, sans effet de modulation. L'analyse par PCR a démontré que les types de mutants induits sont sensiblement différents de ceux d'origine spontanée.



De nombreux articles sont consacrés à cet effet. Citons :

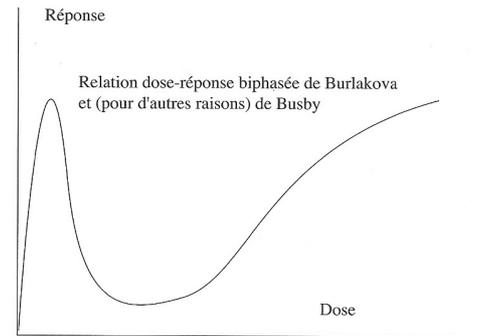
- Azzam El et al., Oncogène (2003); 22:7050-7057, Induction d'effets génotoxiques par l'intermédiaire de cellules exposées à de faibles doses d'irradiation ionisante.
- Watson et al., Cancer Res. 60, 5608 - 5611 (2000); Instabilité chromosomique dans la progénie de cellules souches hématopoïétiques
- Morgan & Sowa, PNAS (2005); 102, 14127-8; Induction d'instabilité génomique par rayonnements ionisants
- Xue et al., PNAS 99, 13765-70 (2002); Inhibition de la croissance de tumeur
- Un diaporama didactique de cet effet : http://www-sante.ujf-grenoble.fr/SANTE/alpesmed/evenements/rns/Rencontres_nuclaires_annees_precedentes/rencontres_nuclaires2009/pdf/05_D_Averbeck.pdf

Le plus grave dans l'effet Bystander pourrait être la transmission de l'instabilité génomique à la descendance. Ceci expliquerait l'augmentation du nombre de leucémies chez les enfants des "liquidateurs" de Tchernobyl et enfants d'autres populations irradiées.

Les réponses biphasiques aux faibles doses lors de certaines expérimentations sont aussi en opposition avec les théories linéaires de la réponse. Dans ce cas, on a une réponse très rapidement importante passant par un maximum

(destruction cellulaire en culture de tissus par exemple), puis une diminution jusqu'à un minimum au fur et à mesure que la dose augmente, puis une deuxième augmentation. Il pourrait s'agir de deux dommages différents, par exemple, dommage à la membrane aux doses les plus faibles, puis dommage à l'ADN aux doses plus fortes; ou de l'atteinte successive de deux populations cellulaires différentes, par exemple d'abord les cellules en cours de division, plus sensibles, puis les cellules au repos . Pour la scientifique Burlakova, les leucémies pourraient suivre ce modèle biphasique.

(in CERI, Recommandations 2003 du Comité Européen sur le Risque de l'Irradiation, Ed. Frison Roche 2004).



Sur le plan de l'irradiation elle-même, **les émetteurs Auger**, et les phénomènes de **désintégrations successives** entraînent certainement des effets biologiques complexes, bien loin des théories simplistes d'une augmentation linéaire des conséquences de l'irradiation.

Le journaliste poursuit : "Elles [les normes] imposent aujourd'hui d'éviter l'exposition des travailleurs du nucléaire à plus de 20 mSv par an. Pour le public, la dose d'un millisievert par an due aux activités industrielles est retenue."

Mais le Comité Européen sur le Risque de l'Irradiation recommande dans un rapport très documenté et argumenté, en 2003, d'adopter la doses maximum admissible de 0,1 mSv pour le public, en comptant TOUTES les pratiques humaines (donc y compris irradiation médicale, contrôles par rayons X dans les aéroports, etc.) . Pour les travailleurs du nucléaire, il recommande de ne pas dépasser 5 mSv.

CERI Recommandations 2003 du Comité Européen sur le Risque de l'Irradiation, Ed. Frison Roche 2004

Le journaliste poursuit : "C'est souvent inférieur à la radioactivité naturelle et aux doses médicales"

Nous avons vu au début de cet exposé que la radioactivité naturelle n'est pas anodine et cause bien des maladies : citons simplement le gaz Radon, première cause naturelle de cancer du poumon. Par ailleurs, la radioactivité naturelle n'est pas de même nature que la radioactivité artificielle qui inclut surtout des isotopes tels que Strontium-90, qui se fixe dans les os, le Plutonium qui se fixe dans les poumons, le tube digestif, les os, etc., le Césium-137 qui se fixe préférentiellement dans les muscles, le cœur, la thyroïde, l'iode-131 qui se fixe dans la thyroïde, et bien d'autres.

Quant aux "doses médicales", elles n'ont rien d'anodin non plus.

- L'étude d'Oxford de 1299 enfants décédés de cancers entre 1953 et 1955 a montré le risque de l'irradiation par radiographie abdominale de la mère enceinte pour le fœtus.
Stewart, Alice M; JW Webb, BD Giles; D. Hewitt, 1956. «Communication préliminaire: une maladie maligne dans l'enfance et irradiation diagnostique in utero», *Lancet*, 1956, 2: 447.
- Bien d'autres études ont confirmé les risques. Citons des études sur des patients irradiés pour spondylarthrite ankylosante, teigne, hypertrophie des amygdales : elles ont entraîné de nombreux cancers, du cerveau, de l'amygdale, de la thyroïde, ...
- Selon une étude américaine récente, les irradiations médicales dans ce pays pourraient être la cause de 1,5 à 2% des cancers dans ce pays, soit 29 000 cancers dont 15 000 mortels chaque année.
Brenner D. et Hall J., Computed tomography-An increasing source of radiation exposure; *New England Journal of Medicine*. Nov. 2007.

- Un article de 2012 signalant les risques de cancers du cerveau et de leucémies chez les enfants subissant des scanners, est visible sur : www.thelancet.com Published online June 7, 2012 DOI:10.1016/S0140-6736(12)60815-0 1 en voici la présentation :

Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study

Pearce Mark et al.,

Background Although CT scans are very useful clinically, potential cancer risks exist from associated ionising radiation, in particular for children who are more radiosensitive than adults. We aimed to assess the excess risk of leukaemia and brain tumours after CT scans in a cohort of children and young adults.

Methods In our retrospective cohort study, we included patients without previous cancer diagnoses who were first examined with CT in National Health Service (NHS) centres in England, Wales, or Scotland (Great Britain) between 1985 and 2002, when they were younger than 22 years of age. We obtained data for cancer incidence, mortality, and loss to follow-up from the NHS Central Registry from Jan 1, 1985, to Dec 31, 2008. We estimated absorbed brain and red bone marrow doses per CT scan in mGy and assessed excess incidence of leukaemia and brain tumours cancer with Poisson relative risk models. To avoid inclusion of CT scans related to cancer diagnosis, follow-up for leukaemia began 2 years after the first CT and for brain tumours 5 years after the first CT.

Findings : During follow-up, 74 of 178 604 patients were diagnosed with leukaemia and 135 of 176 587 patients were diagnosed with brain tumours. We noted a positive association between radiation dose from CT scans and leukaemia (excess relative risk [ERR] per mGy 0·036, 95% CI 0·005–0·120; $p=0\cdot0097$) and brain tumours (0·023, 0·010–0·049; $p<0\cdot0001$). Compared with patients who received a dose of less than 5 mGy, the relative risk of leukaemia for patients who received a cumulative dose of at least 30 mGy (mean dose 51·13 mGy) was 3·18 (95% CI 1·46–6·94) and the relative risk of brain cancer for patients who received a cumulative dose of 50–74 mGy (mean dose 60·42 mGy) was 2·82 (1·33–6·03).

Interpretation Use of CT scans in children to deliver cumulative doses of about 50 mGy might almost triple the risk of leukaemia and doses of about 60 mGy might triple the risk of brain cancer. Because these cancers are relatively rare, the cumulative absolute risks are small: in the 10 years after the first scan for patients younger than 10 years, one excess case of leukaemia and one excess case of brain tumour per 10 000 head CT scans is estimated to occur. Nevertheless, although clinical benefits should outweigh the small absolute risks, radiation doses from CT scans ought to be kept as low as possible and alternative procedures, which do not involve ionising radiation, should be considered if appropriate.

Funding : US National Cancer Institute and UK Department of Health.

Exposition à l'irradiation par scanner CT pendant dans l'enfance et risque ultérieur de leucémie et tumeurs cérébrales : une étude de cohorte rétrospective.

Pearce Mark et al.,

Contexte Bien que les scans CT soient très utiles cliniquement, des risques potentiels de cancer existent associés aux radiations ionisantes, en particulier pour les enfants qui sont plus radiosensibles que les adultes. Nous avons eu pour but d'évaluer le risque d'excès de leucémies et de tumeurs cérébrales après scan CT dans une cohorte d'enfants et de jeunes adultes.

Méthodes Dans notre étude de cohorte rétrospective, nous avons inclus des patients sans diagnostics de cancer précédents qui avaient auparavant été examinés par scans CT dans des centres de la Sécurité sociale (NHS) en Angleterre, Pays de Galles, ou Écosse (Grande-Bretagne) entre 1985 et 2002, avant leurs 22 ans. Nous avons obtenu des données pour l'incidence de cancer, la mortalité et la perte de suivi à partir de l'Enregistrement Central NHS du 1er Janvier 1985, au 31 décembre 2008. Nous avons évalué les doses absorbées par le cerveau et la moelle osseuse rouge, par scanner CT en mGy et évalué l'excès d'incidence de leucémies et tumeurs cérébrales cancéreuses avec le modèle de Poisson de risque relatif. Pour éviter l'inclusion des scanners CT liés au diagnostic de cancer, le suivi pour la leucémie a commencé 2 ans après le premier CT et pour des tumeurs cérébrales 5 ans après premier CT.

Découvertes : Pendant le suivi, 74 de 178 604 patients ont été diagnostiqués avec une leucémie et 135 de 176 587 patients ont été diagnostiqués avec une tumeur cérébrale. Nous avons noté une association positive entre la dose de radiation du scanner CT et la leucémie (risque d'excès relatif [ERR] par mGy 0·036, 95 % CI 0·005-0·120; $p=0\cdot0097$) et tumeurs cérébrales (0·023, 0·010-0·049; $p < 0\cdot0001$). Comparé avec les patients qui ont reçu une dose de moins de 5 mGy, le risque relatif de leucémie pour les patients qui ont reçu une dose cumulative d'au moins 30 mGy (dose moyenne 51·13 mGy) était 3·18 (95 % CI 1·46-6·94) et le risque relatif du cancer cérébral pour les patients qui ont reçu une dose cumulative de 50-74 mGy (dose moyenne 60·42 mGy) était 2·82 (1·33-6·03).

Interprétation: L'utilisation des scanners CT chez les enfants délivrant des doses cumulatives d'environ 50 mGy pourrait presque tripler le risque de leucémie et des doses d'environ 60 mGy pourraient tripler le risque du cancer cérébral. Parce que ces cancers sont relativement rares, les risques absolus cumulatifs sont petits : en 10 ans après le premier scanner pour des patients de moins de 10 ans, un cas d'excès de leucémie et un cas d'excès de tumeur cérébrale pour 10 000 scanners CT est provoqué. Néanmoins, bien que les bénéfices cliniques devraient dépasser les petits risques absolus, les doses de radiation des scanners CT doivent être maintenues aussi basses que possibles et des procédures alternatives, qui n'impliquent pas les radiations ionisantes, devraient être considérées si possible.

Financement :US National Cancer Institute and UK Department of Health.

"Les risques des radiations sont fonction de facteurs individuels, comment les identifier ?"

Les principaux facteurs de risque sont bien identifiés et faciles à repérer : c'est **d'abord la dose ! Il faut limiter au maximum des doses d'irradiations reçues par tous et par chacun.** Ensuite, il y a l'**âge** et le **sexe**. La radiosensibilité est très augmentée chez l'enfant, d'autant plus grande que l'enfant est plus jeune, elle est maximum chez le fœtus. Il faudrait donc des normes bien plus sévères pour les enfants que pour l'adulte. De même les femmes sont plus sensibles que les hommes, donc là aussi, les normes doivent être révisées.

Une thèse concernant la recherche de la radiosensibilité individuelle au cours des radiothérapies pour cancers, expose par ailleurs la complexité du problème, entraînant de grandes difficultés pour identifier les personnes radiosensibles :

[http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-](http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/HDR_Agnes_Francois.pdf)

IRSN/Documents/HDR_Agnes_Francois.pdf

Pages 42-43

2.3 Facteurs de prédisposition

[... ...]

La réponse des tissus sains à l'irradiation semble également gouvernée par des facteurs génétiques. La détermination précise d'une radiosensibilité individuelle pourrait permettre d'adapter le traitement radiothérapeutique en fonction des données de chaque patient : éviter les escalades de dose chez les patients les plus sensibles, ou au contraire augmenter la dose chez les individus particulièrement radio-résistants (Gatti, 2001).

Des essais de prédiction de la radiosensibilité individuelle et des toxicités aiguës et tardives par des mesures de radiosensibilité de lymphocytes ou de fibroblastes in vitro ont été entrepris dans plusieurs laboratoires, avec cependant des résultats très variables, aussi bien en études prospectives que rétrospectives (Dikomey et al., 2003 ; Lopez et al., 2005). Il est encore extrêmement difficile de faire de telles prédictions, peut-être excepté dans les cas d'extrême radiosensibilité. La controverse peut avoir plusieurs explications, comme des différences dans les organes étudiés, les critères de toxicité, les temps de collecte des cellules, etc. (Wang et al., 2005 ; Wang et al., 2005b). D'autres études ont été faites sur des mutations génétiques ponctuelles associées à une hyper-radiosensibilité, comme l'ataxie télangiastase, le syndrome de Nijmegen (Neubauer et al., 2002), ou encore la sclérodémie (Burt et al., 2004). Enfin, et d'après les observations chez des souches de souris de susceptibilités différentes au développement de fibroses rectale ou pulmonaire (Haston et al., 2002 ; Skwarchuk and Travis, 1998), les travaux se sont orientés vers la recherche de profils génétiques afin d'identifier une série de gènes candidats susceptibles de prédire la radiosensibilité relative des patients. Ainsi, le polymorphisme observé sur quatre gènes candidats (TGF β 1, SOD-2, XRCC3 et XRCC1) a été corrélé à une augmentation du risque de dommages aux tissus sains (Andreassen et al., 2003; Andreassen et al., 2006). L'étude du polymorphisme de plusieurs gènes semble aujourd'hui la stratégie la plus prometteuse pour la prédiction des radiosensibilités individuelles. Le projet Gene-Pare a ainsi pour objectif de mettre en place des tests prédictifs afin d'optimiser et d'individualiser les traitements radiothérapeutiques (Ho et al., 2006).

Puis on passe, assez brusquement, des irradiations plutôt médicales aux irradiations accidentelles de la catastrophe de Tchernobyl, avec : "Une étude récente (Lydia Zablotska et al. *Environmental Health Perspectives*, 8 Nov. 2012) montre que sur 110 000 liquidateurs ukrainiens de Tchernobyl, on relève 137 cas de leucémies dont 19 attribuables à leur intervention".

On a là une interprétation caricaturale d'un travail scientifique complexe et délicat.

Cette étude (traduite en Annexe II) fait suite à trois autres, réalisées par des équipes américano-ukrainiennes, sur les leucémies des travailleurs ukrainiens de Tchernobyl (auxquelles a participé L. Zablotska) sur le même sujet, dont :

- [Chumak V. et al., Res Radiat.](#) nov. 2008; 170 (6) :698-710; **troubles liés à la leucémie des travailleurs de nettoyage de Tchernobyl d'Ukraine: II. Estimation des doses à la moelle osseuse.**
- [Romanenko AY. et al., Res Radiat.](#) nov. 2008; 170 (6) :711-20, **troubles liés à la leucémie des travailleurs de nettoyage de Tchernobyl d'Ukraine: III. Risques radiologiques.**

Divers éléments de discussion peuvent être avancés ici.

- x La **reconstitution des doses** reçues par les travailleurs a été une difficulté majeure : la moitié d'entre eux n'avaient pas eu de dosimètre : un article entier est consacré à ce problème, dont la solution reste fragile et critiquable malgré tous les efforts et la méthode RADRUE est nouvelle et non éprouvée.
- x Dans ce qui était encore l'Union Soviétique en 1986, un **décret** a été publié quelques semaines après l'accident, interdisant aux médecins de noter le diagnostic de "leucémie" sur les dossiers, des "liquidateurs". Le recueil de ces données est donc des plus fragiles en ce qui concerne les premières années.
- x Sur les liquidateurs Ukrainiens de Tchernobyl, nous **disposons** du National Ukrainian Report, 2006 (Law of Ukraine, 2006, *Twenty years of Chernobyl Catastrophe*. Future Outlook -Kiev-, //www.gov.ua/news_show.php?), qui indique une augmentation significative des leucémies chez les liquidateurs 15 ans après la catastrophe.
- x De même, l'**incidence du myélome multiple** (autre cancer de cellules sanguines et médullaires) est **doublée** par rapport à la population générale (Gluzman D. et al., (2006) *Patterns of leukemias and lymphomas in clean-up workers and children ... in Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe ... [Abstracts Kiev] p. 6-7 //www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDFS/si8_2006/Tez_engl.pdf*).
- x L'augmentation des leucémies et lymphomes se manifeste aussi pour la **population générale** : voir "*Chernobyl Consequences of the Catastrophe for People and the Environment*" par Yablokov V. et al. *Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 181. www.strahlentelex.de/Yablokov%20Chernobyl%20book.pdf* dont est tirée cette figure :



Figure 6.19. Leukemia and lymphoma morbidity (age adjusted, per 100,000, men and women) in Ukraine, 1980–2000 (Prysyazhnyuk et al., 2002).

- x Cette étude ne tient pas compte de l'**irradiation chronique** subie par les populations ukrainiennes du fait de la contamination de leur territoire par des dépôts radioactifs (Césium-137 en particulier), ni de la **contamination interne** par l'alimentation contaminée.
- x Cette étude utilise comme **témoins "sains"** des sujets eux-même irradiés.
- x Cette étude est centrée sur la Leucémie Lymphoïde Chronique, qui, jusqu'alors, était considérée comme n'étant PAS influencée par les radiations, et ne figure PAS sur la **liste des 21 cancers radio-induits** de l'UNSCEAR (voir annexe I).
- x Cette étude n'est pas exempte de **conflits d'intérêts** : financement partiel par l'industrie nucléaire, participants de l'étude ayant travaillé pour l'industrie nucléaire.

La réponse de Nicolas Foray est malhonnête : en effet il dit que "l'ampleur des conséquences de la catastrophe de Tchernobyl est très loin des centaines de milliers de morts annoncées par certains médias"

- Il ne s'agit pas de "certains médias", mais de nombreux articles scientifiques publiés dans des revues à comité de lecture et qui ont été rassemblés dans une revue générale des effets de la catastrophe, publiée par les Annales de l'Académie des Sciences de New York (déjà cité).
- Par ailleurs, plusieurs équipes de chercheurs sont arrivées, par des méthodes différentes, à des résultats similaires, autour de un million de morts, dues à la catastrophe. En voici une revue collectée et analysée par le CERI :
Prévisions des conséquences globales pour la santé de l'accident de Tchernobyl.
 Méthodologie du Comité Européen sur le Risque de l'Irradiation (CERI) 24 Avril 2011 C. Busby – Université d' Ulster,
<http://www.euradcom.org/2011/chernhealthrept3.pdf>

Prédiction/analyse	Nombre	Note
Gofman J. W 1990	970 500	Excès de cancers mortels calculé à partir des doses de dépôts de Cs-137 et du facteur de risque de Gofman de 0,28/Sv; monde entier
AIEA/OMS 2005	9 000	Excès de tous les cancers en utilisant le facteur de risque de la CIPR de 0,05/Sv; ensemble du monde
Fairlie Summer [rapport TORCH 2006]	30 000 à 60 000	Excès de cancers mortels; monde entier; hypothèses modèle CIPR et doses collectives
Greenpeace 2006	93 000	Excès de mortalité par cancers solides et leucémies 1986-2056 dans tous les pays
Bertell Rosalie (CERI 2006)	899 600 à 1 787 000	Excès de cancers mortels dans l'ensemble du monde; méthode non précisée
Yablokov 2011	900 000 à 1,4 million	Excès de décès en 25 ans seulement. Comparaison des augmentations de décès dans des populations européennes différemment contaminées
Cette analyse basée sur la contamination	495 500	Excès d'incidence de cancers pendant 10 ans suivant l'exposition basée sur l'épidémiologie de Tondel
Cette analyse basée sur la dose	740 000 à 1,48 million	Incidence globale de cancers en 50 ans basée sur le modèle de risque absolu CERI 2010 et ses hypothèses de fraction interne
Cette analyse basée sur la contamination	2,45 million	Incidence de cancers en 50 ans basée sur l'épidémiologie de Tondel

- Citons, à l'appui des estimations scientifiques élevées, le travail de Tondel et de ses collaborateurs, effectué à partir de l'augmentation d'incidence des cancers dans différentes parties de la Suède selon les dépôts radioactifs au sol après Tchernobyl. Tondel M. et al. Increase of regional total cancer incidence in north Sweden due to the Chernobyl accident. J. Epidemiol. Community Health (2004) 58, 1011-1016.

En conclusion de ces remarques, nous voudrions reprendre le titre de l'article "**les risques ... sont fonction de facteurs individuels**". Ceci laisse à penser que les problèmes de santé dus à l'irradiation sont principalement liés à des facteurs individuels, comme l'excès de cholestérol ou l'asthme ... Mais ils sont dus d'abord aux activités humaines industrielles et médicales. **C'est au législateur et à la société qu'il revient de protéger la population et d'abord ses membres les plus fragiles, nos enfants, qui sont l'avenir de notre espèce.**

Pour le collectif "Nucléaire et santé-IndependentWHO", Dr HANNE, médecin biologiste, le 16 Février 2013
 Infos du collectif sur www.independentwho.org

ANNEXE I

LISTE DES 21 TYPES DE CANCERS RADIO-INDUITS

RETENUS PAR UNSCEAR 2006

Groupe 1

1. Leucémies sauf leucémie lymphoïde chronique (considérée comme non radio-induite)
2. Cancer du sein (femme)
3. Cancer du corps thyroïde
4. Cancer cutané sauf mélanome malin
5. Cancer du poumon
6. Cancer du colon

Groupe 2

1. Cancer des glandes salivaires
2. Cancer de l'œsophage
3. Cancer de l'estomac
4. Cancer du foie
5. Cancer de la vessie
6. Cancer de l'ovaire
7. Cancer du cerveau et système nerveux central
8. Cancer des os et du tissu conjonctif
9. Cancer de l'utérus
10. Cancer de l'intestin grêle
11. Cancer du rectum
12. Cancer du rein

Groupe 3

1. Myélome multiple
2. Lymphomes non hodgkiniens