

# Santé

## Deux révélations

L'énergie nucléaire a été souvent attaquée sous l'angle de la santé. Les rayonnements ionisants qu'elle génère à très faible dose représenteraient un risque inacceptable, selon les opposants au nucléaire. Mauvaise pioche !

D'une part, la radioactivité constitue un outil irremplaçable pour la médecine. Elle a apporté une révolution dans les explorations des fonctions du vivant. Grâce aux isotopes radioactifs, les médecins disposent, pour les diagnostics, d'une panoplie de techniques difficilement imaginables il y a seulement une génération. Chaque jour, dans le monde entier, il se pratique environ 50 000 interventions en médecine nucléaire, notamment pour des traitements du cancer, diagnostics et images par résonance magnétique.

D'autre part, non seulement tous les rapports d'évaluation coût-bénéfice donnent l'avantage à l'énergie nucléaire (voir par exemple le rapport de l'Académie de médecine sur le sujet), mais de plus, les nouvelles avancées scientifiques montrent que les bases sur lesquelles s'appuyaient les partisans de la peur du rayonnement sont fausses. En fait, les technologies nucléaires représentent une irremplaçable alliée de l'homme dans l'augmentation de son espérance de vie autant que dans l'amélioration de sa santé.

« La quasi-totalité des études effectuées, notamment sous l'égide de la Commission européenne à Bruxelles, pour comparer les risques sanitaires des diverses formes de production d'énergie (en particulier, charbon, pétrole, gaz, nucléaire) concluent que l'énergie nucléaire est celle qui induit les risques les plus faibles. »

Sur la période 1970-1992, les chiffres sont clairs : l'énergie nucléaire est celle qui a fait le moins d'accidents, beaucoup moins que toutes les autres. Si l'on étendait cette période jusqu'à aujourd'hui, la comparaison serait encore plus favorable au nucléaire, puisqu'il y a eu bien d'autres accidents dans le domaine du gaz, du pétrole et

## EMMANUEL GRENIER

surtout du charbon depuis dix ans. Aucun dans le domaine nucléaire.

En dépit de ces données objectives, la perception du public occidental reste faussée par des années de propagande antinucléaire. Selon cette perception, les déchets nucléaires représenteraient le plus grand danger, devant la drogue, le tabac et la

pollution chimique. Alors que les principaux facteurs cancérigènes de notre environnement restent le tabac et les déséquilibres alimentaires (les deux principaux, de très loin), suivis du soleil et de l'alcool. **(Schéma 1.)**

### LE CAS DES IMMEUBLES TAÏWANAIS : UN EXEMPLE DE GESTION DES DÉCHETS NUCLÉAIRES BÉNÉFIQUE POUR LA SANTÉ ?

Nous avons vu dans l'article précédent que le « danger » des déchets radioactifs devait être relativisé et qu'il était parfaitement maîtrisé avec les techniques disponibles aujourd'hui. Un incroyable incident survenu à Taiwan, il y a une vingtaine d'années, donne la mesure de la stupidité de ces règles. De l'acier contaminé par du Cobalt 60 fortement radioactif a été utilisé par erreur pour construire 180 immeubles, comprenant environ 1 700 appartements, entre 1982 et 1984. Quelque 10 000 personnes ont vécu dans ces appartements pendant des périodes allant de 9 à 20 années, recevant sans le savoir d'énormes doses de radioactivité (400 mSv en moyenne, mais parfois jusqu'à 6 000 mSv au total), mais à des débits de dose relativement faibles : de quelques microsievverts à l'heure ( $\mu\text{Sv} / \text{h}$ ) à 1 mSv/h. Tout de même, 20 % des habitants ont reçu une dose allant de 5 mSv par an à 160 mSv par an. Rappelons, par comparaison, que la norme européenne pour le grand public est de 1 mSv par an. On s'est aperçu de la contamination en 1993 mais les derniers résidents n'ont été évacués qu'en 2003, et encore, seulement des appartements les plus contaminés. Les Taïwanais, étant sans doute moins hystériques que les Européens, ont en effet pris la sage décision de laisser les personnes continuer à habiter leurs appartements, si la dose annuelle était inférieure à 5 mSv par an. Ce qui représente deux fois la dose due au rayonnement naturel en France. Rappelons que la CRIIRAD<sup>1</sup> et les antinucléaires protestent contre « des niveaux de contamination anormalement élevés » lorsqu'ils mesurent des rayonnements entraînant des doses de 0,01 mSv par an ! (communiqué de presse de la CRIIRAD du 16 janvier 2003 sur les clôtures du centre nucléaire de Marcoule). On se demande quels qualificatifs ils utiliseraient pour décrire les expositions des habitants qui sont restés dans ces immeubles taïwanais, dont la dose moyenne supplémentaire est de 3 mSv par an.

Nombre de décès dus à la production d'énergie entre 1970 et 1992

Pétrole	10 273 morts (295 accidents)
Charbon	6 418 morts (133 accidents)
Hydraulique	4015 morts (13 accidents)
Propane	2 292 morts (77 accidents)
Gaz naturel	1 200 morts (88 accidents)
Nucléaire	31 + 10 à 15 morts (Tchernobyl)

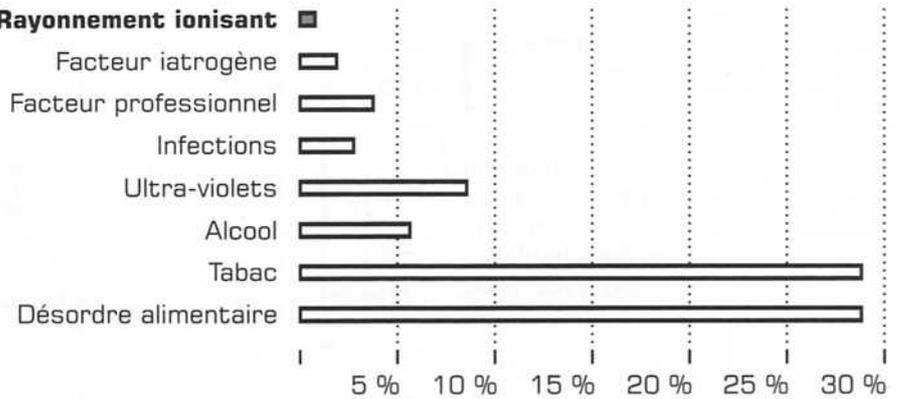
Source : Pr. Jean Arthus.

### Schéma 1. | Rayonnement ionisant

Ces résultats sont extraordinaires à plus d'un titre. D'abord parce qu'ils représentent une expérience scientifique d'exposition humaine unique, qu'il serait bien sûr impossible à réaliser de façon volontaire pour des raisons éthiques. On ne pourrait exposer sciemment des personnes humaines à des doses aussi élevées. Ensuite parce qu'ils démolissent complètement les modèles utilisés pour établir les réglementations en matière de radioprotection, modèles qui ont conduit à fixer des niveaux extrêmement bas, en dessous de la radioactivité naturelle. Ainsi, alors qu'en France cette radioactivité naturelle est en moyenne de 2,4 mSv par an (mais nettement plus dans le Limousin ou en Bretagne), la dose maximale permise par la directive européenne est de 1 mSv par an pour le public. Cette directive est basée sur les modèles de la CIPR (Commission internationale de Protection contre les Rayonnements ionisants), modèles qui s'appuient sur la « relation linéaire sans seuil » entre la dose de rayonnement et les effets sanitaires. A partir des effets constatés à forte dose sur les survivants d'Hiroshima, on extrapole les effets qui interviendraient à faible dose. Nous avons déjà montré ici combien cette hypothèse, valable pour établir par principe de précaution un niveau réglementaire, devient insensée dès lors que l'on essaye de calculer avec elle des taux de cancer dus à la radioactivité (voir Fusion n°91). Le cas de l'immeuble taïwanais en offre une autre illustration : on aurait dû trouver des effets tout à fait marqués dans la population exposée à ces doses considérables. Or, c'est l'inverse qui s'est produit ! La mortalité par cancer du groupe de résidents ne représentait que 3,4 % de la mortalité par cancer dans la population générale taïwanaise (voir notre graphique). De plus, ces résultats sont hautement significatifs ( $p < 0,001$ ), même si la population habitant ces immeubles n'est sans doute pas un échantillon parfaitement représentatif de la population générale taïwanaise (**Schéma 2.**)

La population exposée a été évidemment très bien suivie. On n'a pu observer aucun effet sanitaire néfaste. Au contraire, il semble bien que les effets aient été positifs ! Tous les habitants ayant subi des doses annuelles supérieures à 15 mSv/an ou des doses accumulées supérieures à 1000 mSv ont fait l'objet d'études approfondies sur leurs échantillons sanguins, pour rechercher d'éventuelles aberrations chromosomiques. Aucune déviation significative par rapport au groupe de contrôle n'a pu être observée.

Pour le cancer, la dose collective des habitants était proche de 4 000 personnes-Sievert. Les modèles prédisaient donc un excès de mortalité par cancer de 200 personnes sur les 10 000 habitants irradiés. L'expérience des études sur la mortalité par cancer des survivants d'Hiroshima montre que ces tumeurs solides en excès sont difficiles à discerner parmi les morts par cancer de cause « naturelle », même en vingt ans, du fait de la période de latence pour ce type de cancers. Mais les leucémies en excès, qui ont une période de latence beaucoup plus courte, auraient dû être facilement observables, surtout chez les habitants ayant reçu une dose supérieure à 1 000 mSv. En fait, on n'a observé au total que deux leucémies et cinq tumeurs solides, impossibles à attribuer au rayonnement



### (schéma 3.)

De même, alors que l'on s'attendait à trouver 18 enfants nés avec un défaut héréditaire dans la population des habitants en âge de procréer, on n'en a découvert que trois, nés avec une maladie du cœur congénitale. Les effets sanitaires bénéfiques observés dans ce cas fondamental sont en complète contradiction avec les prédictions issues des modèles ! On comprend dès lors que ce cas soit peu discuté en dehors des spécialistes du rayonnement (et encore, il arrive de rencontrer des spécialistes français qui n'en ont jamais entendu parler !), du fait de sa nature politiquement explosive. Pourtant, il représente un cas unique de population soumise à des doses issues de radioactivité artificielle. On a certes aussi la population des survivants d'Hiroshima, qui reste la base générale de toute la réglementation en matière de radioprotection. Mais cette population pose de nombreux problèmes, notamment du fait de la forte irradiation neutronique conjuguée avec les rayonnements ionisants qu'elle a subi, alors que cette irradiation neutronique, propre à l'arme nucléaire, est absente de la problématique des déchets nucléaires. A Hiroshima, comme à Nagasaki, l'exposition fut unique et très brève. Dans le cas des immeubles de Taiwan, l'exposition était permanente sur une longue période. Par ailleurs, les reconstitutions de dose y sont beaucoup plus fiables que pour Hiroshima où l'on a procédé à de nombreuses hypothèses hardies. Estimer, après coup, la dose reçue par chaque habitant, du fait de la contamination au cobalt 60, suivant son occupation, ses habitudes de vie ou la position de son lit dans l'appartement, n'est pas forcément aisé. Mais ce l'est encore moins pour la dose délivrée en une seule fois à Hiroshima, que l'on a tenté de reconstituer des dizaines d'années plus tard, alors que la mémoire avait en grande partie disparu.

On peut tirer deux conclusions de cette « expérience involontaire » taïwanaise : d'une part, les modèles de la CIPR sont définitivement enterrés scientifiquement. Ils ne tiennent plus aujourd'hui que par l'habitude, la paresse d'administratifs rétifs au changement et surtout à la terreur politique entretenue par les antinucléaires.

La relation linéaire sans seuil, qualifiée de « plus grand scandale scientifique du vingtième siècle » par le fameux radiobiologiste Gunnar Walinder (élève de Sievert), ne survivra sans doute pas aux deux ou trois prochaines décennies. Elle vit ses derniers moments, même si elle a encore des réactions de bête blessée. On en a eu un exemple au cours du mois de juin, avec la publication simultanée d'un article dans le *British Medical Journal* et la publication du septième rapport de l'Académie des sciences américaines sur les effets biologiques des rayonnements

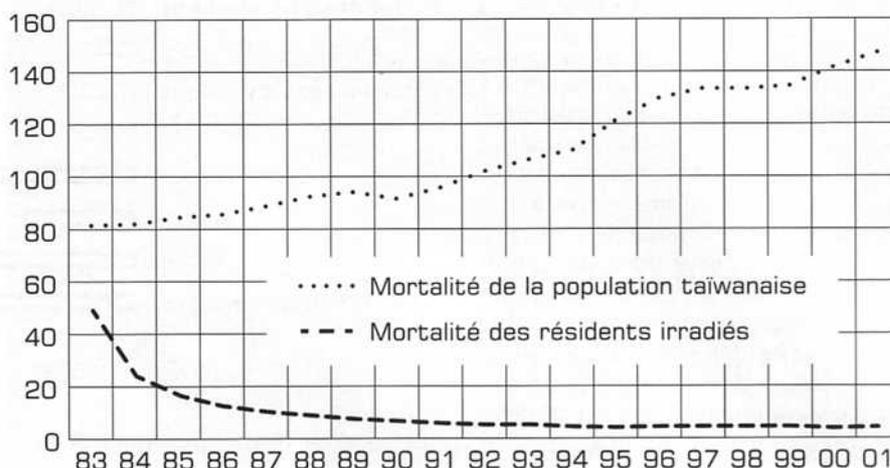
**Schéma 2.**  
Répartition des causes  
de cancer.

ionisants. Présentant un renouveau du nucléaire qui menacerait leur carrière assise sur la peur irrationnelle et le catastrophisme, les épidémiologistes ont annoncé à grand fracas avoir fait la « preuve » que des faibles doses entraînaient un surcroît de risque pour les travailleurs du nucléaire.

Au terme d'une étude gigantesque portant sur plus de 400 000 travailleurs du nucléaire dans quinze pays, coordonnée par le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC), les chercheurs concluent : « Globalement, sur la base des risques mis en évidence dans cette étude, 1 % à 2 % des décès par cancer (y compris la leucémie) chez les travailleurs étudiés **peuvent avoir été provoqués par leur exposition aux rayonnements** » (c'est nous qui soulignons). 1 à 2 % des cancers « **peuvent avoir été provoqués** » par les rayonnements. Voilà tout ce que peut affirmer ce qu'on présente comme « **la plus grande étude jamais menée sur les travailleurs de l'industrie nucléaire** » !

Selon le Dr Boyle, Directeur du CIRC, « ces résultats apportent les estimations directes les plus précises et complètes du risque de cancer après exposition à de faibles doses de rayonnements ionisants reçues de manière prolongée ; ils renforcent la base scientifique des normes de radioprotection pour les expositions environnementales, professionnelles et diagnostiques. Ils étayent les indications actuelles liées au potentiel cancérigène des rayonnements ionisants mais sont rassurants en ce qui concerne l'impact probable des rayonnements ionisants sur le fardeau mondial du cancer ».

De même, le comité américain, placé sous la présidence du Pr. Richard R. Monson de l'université de Harvard, a conclu à la probabilité d'un cas de cancer ou de leucémie par 100 personnes qui ont accumulé 100 millisievert de radiations pendant toute leur vie. La radioactivité naturelle étant de 2,4 mSv en moyenne pour la France, on a donc accumulé 100 mSv dès l'âge de 41 ans, sans prendre en compte les irradiations médicales.



### RIEN DE NOUVEAU !

En réalité, les chercheurs ayant publié ces études s'appuient essentiellement sur l'épidémiologie, alors que l'on sait depuis une trentaine d'années que celle-ci est impuissante pour les faibles doses. Goss, s'appuyant sur ses travaux d'épidémiologie théorique, avait fait dès 1975 le calcul suivant : pour mesurer les effets de doses déjà relativement importantes (200 mSv, soit dix fois la dose maximale annuelle pour les professionnels, délivrés en une fois), il faudrait suivre une population de 600 000 personnes pendant vingt ans ! Autant dire une chose impossible... Et encore, ce suivi gigantesque ne permettrait de détecter un éventuel risque supérieur qu'avec une probabilité de 95 %.

D'ailleurs Elisabeth Cardis et ses co-auteurs, dans leur étude citée en référence, arrivent à des excès de risques relatifs très faibles, parfois non significatifs. Il est curieux qu'ils ne se soient pas intéressés, pas plus que les auteurs du BEIR VII, au cas des immeubles taïwanais !

À l'opposé de ces chercheurs qui s'accrochent désespérément au passé, les Académies des sciences et de médecine viennent de publier un rapport allant dans un tout autre sens.

Lors d'une conférence de presse présentant ce rapport, les Pr. Maurice Tubiana et André Aurengo ont exposé les données récentes qui mettent en évidence l'existence de mécanismes de défense contre les altérations du génome à l'échelle de la cellule du tissu et de l'organisme et qui limitent la prolifération d'une cellule « initiée » dans un

### Les effets « naturels » prédits et ceux observés sur vingt ans

Morts naturelles par cancer (prévues)	Effets héréditaires « naturels » (prévus)	Morts par cancer prévues par les modèles de la CIPR	Effets héréditaires prévus par les modèles de la CIPR	Morts par cancers observées	Effets héréditaires observés
217	46	287	64	7	3
(y compris 4 ou 5 leucémies)	(Toutes maladies congénitales)	217 naturelles 70 provoquées par le rayonnement	46 congénitaux 18 provoqués par le rayonnement.	(soit 3.2% du taux de mortalité par cancer observé dans la population générale)	(soit 6.5 % du taux de maladies congénitales observé dans la population générale)

**Schéma 3. |**

tissu ou un organisme multicellulaire :

« Les progrès de la radiobiologie ont montré que la cellule ne subit pas passivement l'accumulation des lésions causées par les rayonnements. Elle se défend et réagit par au moins trois mécanismes :

- En mettant en œuvre des systèmes enzymatiques de détoxification dirigés contre les espèces actives de l'oxygène apparues à la suite du stress oxydatif,

- En éliminant les cellules lésées (mutées ou instables), grâce à deux mécanismes : l'apoptose (qui peut être déclenchée par des doses de l'ordre de quelques mSv afin de tuer les cellules dont le génome a été altéré ou présente des dysfonctionnements) et la mort au moment de la mitose des cellules dont les lésions n'ont pas été réparées. Or, des travaux récents indiquent qu'il existe un seuil au-dessous duquel les faibles doses et débits de dose ne déclenchent pas l'activation des systèmes de signalisation intracellulaire qui gouvernent la réparation, ce qui entraîne la mort de ces cellules.

- En mettant en œuvre des systèmes de réparation de l'ADN qui sont stimulés ou activés par des doses de l'ordre d'une dizaine de mSv. »

Ces données récentes ont été complètement ignorées par les auteurs du BEIR VII.

Il existe de plus, poursuivent les auteurs, des systèmes de signalisation intercellulaire qui informent chaque cellule sur le nombre de cellules environnantes ayant été lésées. « Les méthodes modernes d'analyse de la transcription des gènes cellulaires montrent que pour de nombreux gènes, celle-ci est modifiée par des doses beaucoup plus faibles (de l'ordre du mSv) que celles pour lesquelles on observe une mutagenèse. Ces méthodes ont été la source de progrès considérables en montrant que selon la dose et le débit de dose ce ne sont pas les mêmes gènes qui sont transcrits. »

Ainsi, pour les très faibles doses (<10 mSv), les lésions sont éliminées par la disparition des cellules ; pour des doses un peu plus élevées, les systèmes de réparation de l'ADN sont activés ; ils permettent la survie cellulaire mais

peuvent générer des erreurs. Ces erreurs de réparation croissent avec la dose et le débit de dose.

Autrefois, on pensait que le cancer commençait par une lésion du génome atteignant de façon aléatoire quelques cibles spécifiques (proto-oncogènes, gènes suppresseurs, etc.). « A ce modèle relativement simple, qui avait donné un substrat théorique à l'utilisation de la RLSS, s'est substitué celui d'un processus complexe, (...) dans lequel les relations entre la cellule initiée et les cellules environnantes jouent un rôle essentiel. » Ce processus n'est pas inéluctable : il se heurte à des mécanismes efficaces de défense à l'échelle du tissu et de l'organisme. Ne pas prendre en compte ces mécanismes revient à ignorer les progrès fondamentaux réalisés en biologie au cours des quinze dernières années.

Les auteurs concluent : « Toutes ces données suggèrent une moindre efficacité des faibles doses, voire l'existence d'un seuil qui pourrait être lié soit à l'absence de mise en œuvre des mécanismes de signalisation et de réparation pour les très faibles doses, soit à l'association apoptose + réparation non fautive + immunosurveillance, sans qu'il soit possible, en l'état actuel de nos connaissances, de fixer le niveau de ce seuil (entre 5 et 50 mSv ?) ou d'en démontrer l'existence. Ces réactions peuvent aussi expliquer l'existence d'un phénomène d'hormesis<sup>2</sup> dû à la stimulation des mécanismes de défense, notamment à la lutte contre les formes actives de l'oxygène. De fait, la méta-analyse qui a été faite des résultats de l'expérimentation animale montre dans 40 % de ces études une diminution de la fréquence spontanée des cancers chez les animaux après de faibles doses, observation qui avait été négligée car on ne savait pas l'expliquer. »

Globalement, ces résultats montrent qu'il n'est pas justifié d'utiliser une relation linéaire sans seuil (RLSS) pour estimer le risque cancérigène des faibles doses à partir des observations effectuées pour des doses allant de 0,2 à 5 Sv, puisqu'un même incrément de dose a une efficacité variable en fonction des conditions d'irradiation notamment de la dose totale et du débit de dose.

## NOTES

1. CRIIRAD, Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité. Laboratoire fondé suite à l'accident de Tchernobyl réunissant des militants antinucléaires.

2. Effet d'un agent, physique ou chimique, qui provoque un effet à forte dose et un effet inverse à faible dose. C'est le cas pour de nombreux agents, toxiques à fortes doses, mais qui à faible dose ont un effet favorable protecteur. L'hormesis a été régulièrement évoquée pour la radioactivité.

## BIBLIOGRAPHIE

W. L. Chen et al. *The Beneficial Health Effects of Chronic Radiation Experienced in the Incident of Co-60 Contaminated Apartments in Taiwan.*

W. P. Chang, C. C. Chan and J. D. Wang. *<sup>60</sup>Co-contamination in recycled steel resulting in elevated civilian radiation dose: cause and challenges*, Health Phys. 73(3): 465-472, 1997.

*Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation* (BEIR VII - Phase 2).

*The Final Co-60 Contamination Incident Administration Report*, March 1999, AEC, Executive Yuan, ROC (in Chinese).

W. P. Chang, B. F. Hwang, D. Wang and J. D. Wang. *Cytogenetic effect of low-dose, low-dose-rate gamma radiation in residents of irradiated buildings*, Lancet 1997; 350: 330-333.

Y.C. Luan Y.C. et al, *The True Health Effects of Radiation Revealed in the Incident of Co-60 Contamination in Taiwan*, the 47<sup>th</sup> Annual Meeting of Health Physics, June 16-20, 2002, Tampa, Florida.

S.G. Goss, Health Physics, 1975, Vol. 29 (November) pp. 715-721, *Sizes of population needed to detect an increase in disease risk when the levels of risk in the exposed and the controls are specified: Examples from cancer induced by ionizing radiation.*

Cardis et al. *Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries* BMJ.

Tubiana et al. *La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérigènes des faibles doses de rayonnements ionisants*. Rapport conjoint n°2, Académie nationale de médecine/ Académie des sciences.

C.J. Tung, T. C. Chao, T. R. Chen, F. Y. Hsu, L. T. Lee, S. L. Chang, C. C. Liao, and W.L. Chen. *Dose reconstruction for residents living in <sup>60</sup>Co contaminated rebar buildings*, Health Phys. 74(6): 707-713; 1998.