

PRATIQUES

ou les cahiers de la médecine utopique

le risque nucléaire

et la santé



février - mars 1981

revue du syndicat de la médecine générale

PRATIQUES

ou les cahiers de la médecine utopique

**Revue mensuelle (dix numéros par an)
publiée par le Syndicat de la médecine
générale - B.P. N° 8 - 92220 BAGNEUX -
Tél. : 543-68-24.**

COMITE DE REDACTION : Dominique BOUBILLEY ;
Annie-Claire DEYON ; Bernard GEIDEL ; Jean-Pierre
LHOMME ; Dominique MONCHICOURT ; Dominique
NIOCHE ; Jean-Daniel RAINHORN ; Philippe VAN ES ;
Bernard LAFAYE.

Rédaction et diffusion pour le QUEBEC : Jean
RODRIGUE - CLSC de Lac Etchemin, comté Belle-
chasse, P.Q. CANADA ; pour la BELGIQUE : Edouard
MAIRLOT, avenue Demeur 13, 1060 BRUXELLES,
BELGIQUE.

LE RISQUE NUCLEAIRE ET LA SANTE

SOMMAIRE

	Introduction	2
I	- Le risque dans l'industrie nucléaire	5
II	- Les effets du rayonnement - Les faibles doses	9
III	- La mort statistique	12
IV	- Le rem - La dose collective	16
V	- Comment sommes-nous "protégés" - Les normes internationales	20
VI	- Le débat sur les normes de radioprotection	27
	L'étude de Mancuso, Stewart et Kneale sur la mortalité par cancers et autres causes parmi les travailleurs de l'usine nucléaire de Hanford (USA)	38
	Le rayonnement médical	40
VII	- La législation et les maladies professionnelles nucléaires en France	43
VIII	- Les accidents graves dans l'industrie nucléaire- Les plans d'évacuation	48
IX	- Quelques effets après l'accident d'Harrisburg	55
X	- La Société Nucléaire	57
	Conclusion	61
	Annexe:Les mines d'uranium	62
	Bibliographie	65

LE RISQUE NUCLÉAIRE ET LA SANTÉ

La Coordination Nationale Antinucléaire (CNAN) a demandé à Roger Belbéoch et au S.M.G. l'autorisation de diffuser sous forme de brochure l'article que vous allez lire, paru dans « Pratiques », revue du Syndicat de la Médecine Générale, en mars 1981.

A l'heure où les centrales nucléaires se construisent de plus en plus nombreuses, les Français ont en effet le droit de savoir ce que va leur coûter, dans leur santé et celle de leurs proches, cette industrie nucléaire dont, pour la plupart, ils se seraient bien passé et qu'on leur impose quand même.

Ce droit au savoir que nous essayons d'exercer, l'Etat nucléaire le nie et fait tout pour l'annuler. Regardez la bibliographie : presque tous les articles de référence sont publiés en anglais. En France, rien. Le pays qui a le programme nucléaire le plus ambitieux du monde ne veut rien savoir des risques qu'il court.

Pourtant, si le doute était permis il y a quelques années, aujourd'hui le développement de l'industrie nucléaire nous a donné toutes les leçons nécessaires. On sait, depuis l'étude de Stewart, Mancuso et Kneale sur les travailleurs de Hanford, que les faibles doses de radiation ne sont pas inoffensives. On sait, depuis l'étude de Stern-glass sur l'accident de Three Mile Island le 28 mars 1979, que les rejets radioactifs d'une centrale endommagée (et l'accident de Three Mile Island était relativement bénin !) provoquent des morts par centaines. D'ailleurs, les quantités de radioactivité dégagées par Three Mile Island étaient du même ordre de grandeur que les rejets annuels d'une centrale en fonctionnement normal.

Toutes ces certitudes, qui sonnent comme autant d'avertissements, Roger Belbéoch en fait la synthèse d'une façon accessible à tous, au-delà de la technicité de telles discussions. Qu'il en soit remercié ici.

La Coordination Nationale Antinucléaire.

POUR TOUTE COMMANDE s'adresser à : CAN Bordeaux, 12, rue Planterose, 33000 BORBEAUX.

On peut se procurer la traduction du rapport de Stern-glass au Comité Malville de Lyon, c/o CENTRE D'EXPRESSION POPULAIRE (CEP), 44, rue St-Georges, BP 6 St-Jean, 69245 LYON CEDEX 1.

L'énergie nucléaire, avec son développement extrêmement rapide depuis une dizaine d'années, se place bien dans la logique et l'idéologie industrielles de notre société. Elle présente cependant quelques originalités dont la principale est le danger énorme qu'elle fait courir aux populations. Ce danger apparaît immédiatement avec la mise en place des installations nucléaires. Il a fallu un long développement de l'industrie chimique pour aboutir à Sévésco. La première grande catastrophe nucléaire a eu lieu en 1958 en Union Soviétique, à Kyshtym, dans l'Oural, dans un centre de stockage de déchets radioactifs : évacuation d'une région de 50 km sur 100 km. La censure soviétique et la complicité de tous les états occidentaux ont permis de camoufler l'événement pendant vingt ans.

Le bilan de l'effet sur la population du fonctionnement « normal » des installations nucléaires, bien qu'il ne soit que très partiellement fait, montre que le nombre de cancers déjà produits n'est probablement pas négligeable, alors que l'industrie nucléaire n'a qu'une trentaine d'années et que les précautions prises ont été plus importantes que ce qui se pratique habituellement dans une industrie jeune. L'électricité d'origine nucléaire ne représente actuellement qu'une faible partie de l'énergie consommée et on a déjà envisagé l'évacuation de centaines de milliers de personnes (Harrisburg). Des plans d'évacuation doivent être mis en place. Plus exactement, on laisse croire aux populations inquiètes que de tels plans existent et les protègent efficacement. Les plans ORSEC-RAD ont plus un effet incantatoire qu'une réelle efficacité opérationnelle si l'on en juge par ce qui a été officiellement publié jusqu'à présent.

C'est l'existence de ce danger bien plus que les considérations économiques qui caractérise la société nucléaire. Les investissements énormes nécessités par l'énergie nucléaire en résultent pour une grande part.

Dossier rédigé par Roger BELBEOCH, membre du GSIEN, sur un manuscrit d'avril 1980.

La prise de conscience du danger nucléaire par une partie importante de la population est assez récente. Contrairement à ce qui est constamment affirmé par les promoteurs de l'énergie nucléaire, la conscience de ce danger ne provient pas des traumatismes psychologiques laissés par les explosions d'Hiroshima et de Nagasaki, premières manifestations publiques de cette énergie nouvelle. Bien au contraire, elles furent suivies, dans la presse, par un véritable hymne à la Science. Cette situation dura plusieurs années. Les essais de bombes étaient l'objet de commentaires enthousiastes au point que Bikini, cette île du Pacifique où les américains expérimentèrent des bombes atomiques, désigna les maillots de bain des pin-up, ce qui n'a rien de traumatisant. Lorsque la guerre froide Est-Ouest succéda à l'euphorie de l'après-guerre, le danger des bombes nucléaires apparut, mais toutes les manifestations contre ces bombes s'accompagnèrent d'un hymne à l'énergie nucléaire pacifique présentée comme totalement sans danger par opposition aux désastres des explosions. « L'atome pacifique » faisait partie de tous les slogans de l'opposition aux bombes atomiques.

La critique de l'énergie nucléaire n'est vieille que de quelques années, bien que l'utilisation de cette énergie ait été envisagée dès les années 50 (création de la Commission Gouvernementale PEON : « Production d'Énergie d'Origine Nucléaire »). Les plans de l'EDF pour la nucléarisation de l'énergie n'ont jamais été tenus secrets avant leur large diffusion par le Ministère de l'Industrie en 1974.

L'opposition antinucléaire et la réflexion collective qui l'accompagne généralement se sont, à l'origine, développées totalement en dehors des institutions démocratiques. Les manifestations antinucléaires au début des années 70 furent extrêmement marginales et se déroulèrent dans l'indifférence totale des médias, des syndicats et des partis politiques. Les gouvernements occidentaux n'ont jamais censuré les journaux pour des articles critiques sur l'énergie nucléaire. Si, en France, le gouvernement a empêché certains débats à la télévision il y a quelques années, c'est finalement avec l'accord tacite des journaux et des partis politiques. Les Etats n'ont pas exercé de violence contre les institutions démocratiques pour empêcher que le débat ait lieu et s'il n'a pas eu lieu avant que la décision de développement industriel ait été prise, c'est que nos institutions démocratiques, les élus locaux et nationaux, les journaux, les partis politiques, les syndicats, les institutions scientifiques, médicales, etc... n'ont pas jugé ce débat nécessaire. Ce n'est qu'à partir de 1975, après de très fortes réactions de la population dans certaines régions (Bretagne et Alsace) que la CFDT et des groupes de scientifiques (appel des 400) participèrent aux débats.

Si, actuellement, certains syndicats, partis ou élus s'engagent dans le débat critique et l'opposition antinucléaire, c'est peut-être que la situation qui se prépare en ce moment est encore pire que ce que les groupes marginaux prédisaient. L'affaire des fissures dans les tubulures des cuves de réacteur ainsi que la perte totale de courant électrique au Centre de retraitement des combustibles irradiés de La Hague sont là pour le confirmer.

Il aurait pu être tentant d'aborder la critique de l'énergie nucléaire par l'économie. Notre société a-t-elle ou non besoin d'énergie nucléaire ? Pourrait-on la remplacer par des énergies alternatives ? Les ressources en uranium seront-elles suffisantes pour assurer des programmes industriels à long terme ? Les coûts de production seront-ils réellement ce qu'on affirme chez les officiels ? Comment évoluera le prix du retraitement et par conséquent celui du plutonium ? A qui profitent les investissements nucléaires ? Quel est le rôle des programmes nucléaires dans le redéploiement d'une économie capitaliste en crise ?...

Ces problèmes sont loin d'être négligeables, mais ils ne recouvrent pas l'essentiel de l'énergie nucléaire. Bien souvent ils sont évoqués pour masquer ce qui est le plus important et qui conditionne en majeure partie tous les autres aspects : **les dangers du nucléaire**. Il est vrai qu'il est bien moins angoissant, que l'on soit pro ou anti, de parler en termes économiques. Toute question relative à l'industrie nucléaire n'a strictement aucun sens si elle n'est pas abordée à partir des dangers, des risques. La contamination par les déchets, les catastrophes nucléaires, les nécessités sociales qu'impliquent les dangers devraient avoir des impacts sur nos sociétés bien plus profonds que les crises économiques ou la faillite financière de certaines institutions étatiques ou privées qui auraient fait un mauvais choix en adoptant l'industrie nucléaire. C'est à partir de l'analyse des dangers possibles et des niveaux de risques que l'on est prêt à accepter et à assumer que l'on peut dire si l'énergie nucléaire est acceptable ou non. Les coûts financiers de cette énergie sont finalement secondaires, même si l'on en voit rapidement les conséquences. Les femmes enceintes autour de Three Mile Island n'ont probablement pas pensé au prix de l'électricité ou à la nécessité d'assurer une certaine production d'énergie lorsque les « responsables » de leur sécurité (et aussi de l'accident) discutaient pour savoir s'il fallait ou non les évacuer. Les populations vivant auprès des installations nucléaires raisonneraient-elles en termes économiques si elles réalisaient la signification réelle de la récente recommandation des experts officiels américains de ne pas implanter de centrales nucléaires à moins de 16 km de zones fortement peuplées ?

I - Le risque dans l'industrie nucléaire

A la base de la sûreté nucléaire il y a la notion de *risque*. Ce mot apparaît constamment dans les débats, aussi bien dans les questions que pose la population que dans les réponses des spécialistes de la sûreté. Mais s'agit-il de la même chose dans les deux cas ? Pour les promoteurs du nucléaire, le *risque*, c'est tout simplement la probabilité de réalisation d'un événement, c'est-à-dire la fréquence de son apparition pour une certaine durée de l'exploitation d'une installation nucléaire. Ce *risque*, les spécialistes le caractérisent par un nombre généralement extrêmement petit, donc rassurant. Les événements envisagés ne sont évidemment pas quelconques, mais si, dans les Rapports de Sûreté, les séquences du déroulement de l'événement pris en compte sont décrites en détail, les conséquences ne sont jamais évoquées, même vaguement. Et pourtant, ce sont ces conséquences qui sont à la base du choix des événements étudiés. Le *risque* étant pour les spécialistes une simple probabilité, le nombre qui le représente est strictement indépendant des conséquences produites par l'événement s'il se réalise. Pour les promoteurs du nucléaire, la description des conséquences d'un accident relève de la subjectivité et de l'angoisse collective de populations infantiles.

Comment le mot *risque* est-il généralement perçu ? Dans ce mot, le langage courant met à la fois la probabilité d'un événement dangereux et les conséquences possibles, en attachant d'ailleurs plus d'importance aux conséquences qu'aux probabilités. En simplifiant d'une façon mathématique cette notion, on pourrait dire dans le langage courant que le risque est le produit de la probabilité d'un événement par les dégâts qu'entraînerait la réalisation de cet événement. C'est ce que les mathématiciens appellent « l'espérance mathématique ». A probabilité égale, le risque est d'autant plus grand que les conséquences sont plus graves. C'est dans ce sens d'ailleurs que le mot *risque* est utilisé par les compagnies d'assurances, c'est le produit du taux de mortalité par le montant de la prime souscrite. Le bilan se fait en comparant ce risque aux gains obtenus par les contrats d'assurance.

Dans le langage courant, lorsque les conséquences d'un événement sont très graves, le mot *risque* n'inclut plus la probabilité de l'événement, dans la mesure où l'événement est possible, il ne tient compte que des conséquences. Populations et organismes de sûreté ne parlent pas de la même chose quand ils utilisent le mot *risque*.

Si les organismes de sûreté ou leurs délégués à la propagande répondent à une question en indiquant numériquement l'évaluation des risques, ce n'est certainement pas à la question que se pose la population. Il y a là un véritable abus de confiance, une escroquerie, car pour les spécialistes les deux notions que recouvre le mot *risque* sont parfaitement claires et distinctes.

Que pourrait faire un technocrate consciencieux pour évaluer « correctement » le risque ? Il n'est évidemment pas question pour lui de se contenter d'une évaluation qualitative. Il lui faut du quantitatif. Il lui faudra donc *mesurer* les dégâts possibles. Ceux-ci peuvent être très divers : des morts rapides, des morts à moyen terme (10 à 20 ans), des malformations génétiques sur plusieurs générations, un vieillissement prématuré, des territoires inutilisables pendant des temps très longs, des personnes déplacées, l'angoisse des populations avant l'accident, etc. Comment mesurer tous ces dommages avec la même unité ? Il ne reste qu'une seule issue à notre technocrate « consciencieux », affecter à chacun de ces dégâts un « coût », l'indemnité à payer pour contrebalancer le dommage. Évidemment en régime démocratique, ces coûts devraient être démocratiquement établis. Il y aurait de beaux jours pour des négociations paritaires gouvernement-syndicats pour établir les termes d'équations du genre :

Un enfant mongolien + de l'argent = un enfant non mongolien !

Il faudrait une sacrée dose de cynisme pour faire ouvertement cette évaluation quantitative du risque. Seule l'évaluation qualitative que les non-experts font a un sens. Mais il faut culpabiliser cette attitude, afin que l'angoisse n'apparaisse pas comme la seule mesure exacte du risque. A tout prix, les promoteurs du nucléaire ramèneront le débat sur le terrain tranquillisant des nombres. Quand nous voulons battre les technocrates du nucléaire sur leur propre terrain, nous essayons d'évaluer d'une façon plus explicite les dégâts possibles. Nous dépouillons des rapports bourrés de nombres réservés à des initiés, nous vérifions la cohérence des évaluations chiffrées, la validité des hypothèses mathématiques des calculs. Plongés dans les nombres, nous ne voyons pas la réalité morbide de notre démarche. Ces nombres que nous manipulons nous masquent les morts, les infirmes, les cancéreux, les leucémiques, les mongoliens, les régions dévastées qu'ils sont sensés représenter. Que notre société soit obligée de faire de tels dénombrements, de tels bilans pour appréhender son avenir, c'est assez effrayant. Mais ceci pour les technocrates n'est que le résultat de notre subjectivité angoissée. Les nombres qu'ils alignent les rassurent. Mais quelle valeur ont-ils ? Que représentent ces probabilités ?

La probabilité d'un événement peut être abordée de deux façons. La première est une estimation a priori de la fréquence d'apparition d'un événement. Pour effectuer cette estimation, il faut dénombrer et analyser tous les événements possibles. Si le système est simple, un jeu de cartes par exemple, il n'y a pas de difficultés. Si le système est compliqué, et l'industrie nucléaire est à coup sûr un des plus

compliqués qu'on connaisse, ce n'est pas possible. L'analyse implique que l'on dispose d'un modèle et, pour le nucléaire, il est ridicule de vouloir en trouver un qui soit valable à l'échelle de la durée de vie des déchets (des centaines de milliers d'années), à l'échelle des toxicités des produits mis en œuvre (des millionnièmes de grammes), à l'échelle de la complexité du matériel, sans parler du comportement humain (conception, contrôle, exploitation). Comment imaginer qu'on puisse avoir un modèle valable de la migration de produits radioactifs dans la nature pendant des centaines, voire des centaines de milliers d'années ? Comment introduire le facteur humain dans la conception d'une installation nucléaire ? Comment modéliser le comportement, le pouvoir ou l'absence de pouvoir d'un contrôleur, son humeur, sa santé, sa fatigue, ses fantasmes, comment modéliser la pression hiérarchique qu'il subit ? Comment modéliser la panique ou le sang-froid dans le comportement des opérateurs au début d'un accident ? Comment modéliser le sabotage ? Comment introduire dans un modèle mathématique quantitatif ce technicien qui, ayant à contrôler la ventilation dans une galerie de câbles, mit le feu avec la bougie qui lui servait à vérifier le courant d'air ? Cet événement eut pourtant lieu dans la centrale américaine de Browns Ferry. La majeure partie des sécurités fut détruite laissant ainsi les exploitants sans moyen d'action au cas où le réacteur aurait présenté des anomalies de fonctionnement. Le calcul d'une probabilité a priori pour les accidents nucléaires n'a aucun sens, et pourtant c'est sur cette méthode qu'est fondée la sûreté nucléaire. C'est à partir de ces probabilités calculées que les experts déterminent l'accident maximal qui servira de référence pour dimensionner les installations et leurs systèmes de sécurité.

Reste la deuxième méthode, la méthode statistique. Elle consiste à observer le système et à enregistrer les événements quand ils se produisent afin d'obtenir expérimentalement la fréquence de leur apparition. Plus on dispose d'installations, plus on les observe sur un temps long et plus notre connaissance des probabilités est bonne. Plus exactement, il faudrait dire : moins on dispose d'installations, plus le temps d'observation est court et plus notre connaissance des probabilités est mauvaise. Quand on avance, pour un événement, une probabilité de 10^{-7} (un dixième de millionième), il faudrait avoir observé bien plus d'un million d'installations identiques pendant plus de 10 ans pour avoir un taux de confiance suffisant. En décembre 1978, on trouvait, pour l'ensemble des pays, 74 réacteurs à eau légère d'une puissance nominale supérieure à 700 Mégawatts. La durée cumulée de fonctionnement, pour ces réacteurs, en négligeant les périodes de pannes ou d'entretien, était de 268 années. Dans ces conditions, toute probabilité annoncée inférieure à quelques pour mille et même au pour cent n'a aucune base statistique. La sûreté ne peut réellement être déterminée qu'après coup.

La sûreté du nucléaire, d'un point de vue probabiliste n'a strictement aucun sens. Quel est donc son véritable sens ? Il est totalement subjectif, malgré l'avalanche des chiffres dont les spécialistes nous

submergent. La sûreté n'a de sens qu'à travers les croyances et les mythes du milieu technocratique et la confiance que la population peut avoir vis-à-vis de ce milieu.

Avant de quitter les probabilités, il faut mentionner un aspect assez curieux de la logique des experts promoteurs du nucléaire. Il s'agit de la notion d'*impossible*. Certains accidents particulièrement effrayants par leurs conséquences sont dits *impossibles*. Ceci justifie leur qualification de *hors conditionnement* : l'installation n'est pas dimensionnée ou conditionnée pour maintenir ces accidents dans des limites acceptables. En réalité, il s'agit là d'accidents pour lesquels, technologiquement (ou financièrement) il n'est pas possible de dimensionner l'installation, pour éviter des conséquences catastrophiques. Dans ces conditions, l'impossible est un concept bien commode. De quoi s'agit-il quand on nous parle d'un accident impossible ? C'est un accident physiquement possible, mais il n'a pas été possible pour les experts d'imaginer la séquence d'événements qui conduirait à sa réalisation. L'accident de Three Mile Island et le scénario du film « Le Syndrome Chinois » illustrent bien ce point. La séquence accidentelle était officiellement *impossible*. Des cinéastes l'avaient imaginée car elle était *physiquement possible*. Dans la réalité et dans le film, la fusion totale du cœur du réacteur a été évitée de justesse. Il n'est pas difficile, sans être doué d'une imagination délirante, de bâtir des scénarios où cette fusion totale du cœur se produit.

L'impossible des experts concerne donc un manque d'imagination et non pas l'événement. Là encore on voit que la logique technocratique aboutit à la plus pure des subjectivités.

Depuis quelque temps l'évaluation et la gestion du risque sont parmi les préoccupations des spécialistes. L'énergie nucléaire n'est plus sans risque comme on l'affirmait autrefois. Toute activité humaine comporte des risques dit-on. De nombreuses études sont financées pour évaluer les risques respectifs des divers moyens de produire de l'énergie. Les conclusions, on pouvait s'en douter, montrent que c'est encore l'énergie nucléaire la moins dangereuse. Il est certain que de nombreuses activités dans notre société comportent des risques pour la santé des populations et des travailleurs, mais il semble curieux, qu'après un siècle de développement industriel intensif à l'aide du charbon et du fuel, on voit soudain surgir la nécessité d'en étudier les risques énormes. Il paraît évident que la seule motivation de ces études est de répondre à une anxiété de plus en plus grande de la population vis-à-vis des accidents nucléaires. Il aurait été intéressant que ceux qui s'inquiètent maintenant des dégâts que les industries causent à la santé publique se soient penchés sur ces problèmes avant que les industriels aient brûlé une bonne partie des réserves mondiales de charbon et de fuel, sans contrôle sérieux de la part des responsables de la santé publique.

II - Les effets du rayonnement

Les faibles doses

Les rayonnements ionisants, en traversant un organisme vivant, peuvent y causer des lésions. Ils transfèrent de l'énergie aux cellules des tissus traversés. La quantité d'énergie transférée est suffisante pour induire des changements chimiques dans les molécules des cellules irradiées et produire ainsi des cellules endommagées et anormales.

Si la dose de rayonnement reçue est forte, un très grand nombre de cellules sont endommagées et il en résulte des troubles dont les symptômes dépendent de la dose reçue. Au-delà de 600 rem, la mort à court terme est quasi certaine (dose létale), entre 400 et 600 rem la chance de survie est d'environ 50 %. Le tableau suivant résume l'évolution pathologique à court terme pour différents niveaux d'irradiation homogène de l'ensemble du corps. On a peu d'indications sur l'état de santé ultérieur des personnes si fortement irradiées et les publications médicales sont fort discrètes à ce sujet.

Équivalent de dose (rem)	>> 1000	600 - 1000	400 - 600	200 - 400	50 - 200
Délai			DL 50 X		
Première heure		Nausées	Silence clinique		
Deux à six heures			Vomissements - Diarrhée - Signes neurologiques		Nausées
Six à huit heures			Maximum des symptômes précédents		
Un à deux jours			Début de la chute des lymphocytes		
Première semaine		Mort intestinale	Troubles hématologiques plus ou moins importants		
Deuxième semaine		Mort	Mort médullaire dans 50 X des cas ou davantage	Guérison du syndrome médullaire dans 50 X des cas ou davantage	
Troisième semaine				Guérison Asthénie	
Quatrième semaine					

• Les signes pathologiques et leur évolution pour des irradiations homogènes du corps

(d'après H. Jamet dans Revue Générale Nucléaire N° 5, 1977)

L'irradiation **localisée** de certains tissus particuliers peut produire des lésions, la cataracte pour l'irradiation de l'œil, les radiodermes pour l'irradiation de la peau, par exemple.

A des niveaux d'irradiation plus faibles, les rayonnements ionisants peuvent avoir des effets indirects sur la santé par un affaiblissement général de l'organisme qui se trouve ainsi moins apte à réagir aux agressions : fatigue, sensibilité plus grande aux infections, troubles sanguins, vieillissement prématuré par exemple. On a peu de renseignements quantitatifs sur cette augmentation de la morbidité par le rayonnement.

Aux faibles doses, l'irradiation des tissus vivants peut avoir des effets directs différés à long terme. On classe ces effets en deux groupes : **les effets génétiques** et **les effets cancérogènes**. Ils se produisent pour des doses inférieures à 25 rem généralement reçues d'une façon fractionnée sur un temps long. C'est typiquement le cas des travailleurs des installations nucléaires et des populations vivant au voisinage de ces installations et contaminées par les rejets concertés ou accidentels (non catastrophiques) de produits radioactifs.

Si les changements chimiques produits par les rayonnements ionisants ont lieu dans les cellules de reproduction des gonades, il peut en résulter une altération des gènes ou des chromosomes. Des défauts génétiques pourront alors être transmis aux descendants, des avortements spontanés pourront se produire si les fœtus issus de ces cellules endommagées ne sont pas viables. S'il est possible de connaître assez bien le taux de cassures chromosomiques en fonction des doses reçues, il est plus difficile d'évaluer l'effet de ces cassures sur la descendance. L'observation directe de la propagation de défauts génétiques dans la descendance n'est pas possible. L'altération des gènes produit généralement des gènes récessifs dont la possibilité de s'exprimer est très faible dans la première génération. Il faudra attendre plusieurs générations pour que l'effet commence à être visible. Le rayonnement contribue à augmenter le nombre de gènes défavorables, il augmente ce qu'on appelle le **fardeau génétique**.

Si les modifications chimiques se produisent dans d'autres cellules, il pourra y avoir induction de cancers. Mais la situation est moins claire que dans le cas des fortes doses pour lesquelles il y a une corrélation très étroite entre les signes pathologiques et les doses, à peu près indépendamment des individus. Différents individus soumis à la même dose faible de rayonnement peuvent réagir de façons très différentes : cancer chez les uns, rien chez les autres. La radiosensibilité est très variable d'un individu à un autre, elle varie avec le sexe, l'âge, l'état de santé. Les enfants asthmatiques par exem-

ple seront plus radiosensibles. Pourquoi cette différence entre diverses personnes ? La réponse n'est pas évidente, mais on peut donner un schéma rudimentaire pour l'expliquer. Lorsqu'une cellule absorbe du rayonnement, il peut se produire un changement dans certaines molécules qui la constituent. Si la modification a lieu dans les molécules qui servent à la reproduction de la cellule, les nouvelles cellules qui en résulteront seront différentes et perçues comme étrangères. Elles devraient être détruites par notre système immunologique. Cela peut ou non se produire. L'efficacité immunologique peut ne pas être suffisante pour les détruire mais suffisante pour empêcher leur prolifération ultérieure. Ce petit groupe de cellules cancéreuses est impossible à détecter cliniquement et il peut rester des années (de 10 à 20 ans ou plus) en attente d'une baisse d'efficacité immunologique pour proliférer jusqu'à la formation d'une tumeur cliniquement identifiable. Tous ces mécanismes sont variables d'un individu à un autre et le résultat en est que l'un peut mourir d'un cancer une quinzaine d'années après l'irradiation et l'autre pas.

Il n'est donc pas possible d'avoir une approche individuelle de ces effets. Ils ne sont décelables que d'une façon statistique : en moyenne, une certaine dose de rayonnement ionisant produira sur un grand nombre d'individus un certain pourcentage de cancers. Aucune prédiction a priori ne peut être faite sur la relation effet/dose. Seule une approche expérimentale est valable. L'effet cancérigène du rayonnement ne sera généralement pas perçu dans la vie quotidienne des groupes irradiés (travailleurs ou population) sauf si cet effet atteignait des niveaux énormes sous une forme qu'on pourrait qualifier d'épidémique. Il est bien évident que les normes établies par les diverses commissions d'experts en radioprotection veulent nous maintenir bien en-dessous de ces effets de type épidémique.

L'évaluation de l'effet biologique des faibles doses de rayonnement est un problème très complexe du fait de ses deux caractères principaux : le temps très long nécessaire pour qu'il se manifeste d'une façon cliniquement observable (une ou plusieurs générations pour les effets génétiques, 10 à 20 ans pour les cancers), et son aspect statistique. Pour évaluer correctement la relation effet/dose, il faut donc observer une population **très nombreuse** pendant un temps **très long**. Il faudra de plus que cette population soit assez bien connue et les doses d'irradiation reçues correctement mesurées ou évaluées. Quand les promoteurs de l'énergie nucléaire affirmaient pour lancer leur programme que le rayonnement ne présentait aucun danger pour les populations et les travailleurs, c'était une escroquerie car, à l'époque, ils ne disposaient pas de données valables sur l'effet des faibles doses. La difficulté

pour chacun de connaître la dose reçue, le temps long d'incubation, l'impossibilité de distinguer un cancer radioinduit des autres cancers, rendaient et rendent encore l'escroquerie assez facile, d'autant plus que leur situation d'experts faisait croire qu'ils possédaient assez de données théoriques ou expérimentales pour justifier leur affirmation.

L'évaluation des effets biologiques des rayonnements ionisants est importante et elle doit faire partie du dossier nucléaire. Il est nécessaire qu'elle soit faite correctement, si l'on veut parler comme le font les experts en terme de bilan.

III - La mort statistique

Il y a, à propos des effets biologiques des faibles doses de rayonnement, un phénomène que nous avons du mal à percevoir car il implique une causalité de type statistique.

Lorsqu'un travailleur tombe d'un échafaudage assez haut, après la chute il sera mort ou tout au moins sérieusement abîmé. L'accident professionnel dans ces conditions est clair. Après l'accident de Sévésco les symptômes relevés parmi la population pouvaient directement être reliés à la contamination par la dioxine. Il en est de même pour la plupart des produits chimiques (benzène, plomb, mercure, etc...). Des autopsies peuvent éventuellement confirmer les observations cliniques. Il n'en découle pas pour autant une reconnaissance officielle des dangers ni une réglementation adéquate de l'usage ou de la manipulation de ces produits. Les exemples de Minamata et l'amiante le montrent bien. Pour les fibres de verre, il faudra attendre une vingtaine d'années et de nombreux morts pour qu'on envisage de les réglementer. Mais ceci est un autre problème.

Lorsqu'un travailleur de l'industrie nucléaire reçoit une dose massive d'un seul coup, disons plus de 100 rem, il y a quasiment à coup sûr des effets bien définis sur son organisme. Là aussi la situation est claire. La relation entre la dose et les effets est bien définie.

En ce qui concerne les faibles doses de rayonnements ionisants, la situation est moins claire et plus vicieuse. Plusieurs personnes soumises à la même dose faible peuvent avoir des réactions très différentes, cancers ou rien. Les cancers qui auront été radioinduits ne sont pas spécifiques d'une irradiation artificielle. Certains tissus de l'organisme sont plus radiosensibles que d'autres (moelle osseuse, thyroïde, poumons, etc...) mais les cancers de ces tissus ne sont pas spécifiques d'une irradiation. Il n'est donc pas possible d'identifier sur un individu donné la cause de son cancer. Par contre quand on effectue des moyennes sur un grand nombre de personnes ayant eu des passés sensiblement similaires, la relation entre les cancers et les doses reçues se précise et cela de mieux en mieux au fur et à mesure qu'on observe une population plus nombreuse. Les effets cancérigènes du rayonnement aux faibles doses ne peuvent donc pas être perçus dans la vie quotidienne sauf s'ils atteignent des niveaux énormes. Si le type de cancer observé est rare, c'est-à-dire très peu fréquent, on peut avoir une très forte présomption, mais jamais une certitude de type causal avec un nombre de cas assez faible.

Depuis que les effets cancérigènes du rayonnement sont un peu mieux connus de la population, malgré l'autocensure quasi totale de la presse, les promoteurs développent dans le public l'argument suivant : interrogez les habitants vivant autour des centrales et demandez-leur s'ils ont observé quelque chose d'anormal. Nous allons montrer que cet argument est vicieusement erroné en prenant un modèle assez simple et grossier mais qui permet de fixer les idées par quelques chiffres. Imaginons que là où vous vivez vous connaissiez une centaine de personnes assez bien pour vous intéresser à la cause de leur mort. En moyenne vous apprendrez la mort d'environ une personne par an. Ceci est très approximatif car ce chiffre dépendra des classes d'âge des gens que vous connaissez, mais gardons ce chiffre comme moyenne. Le taux moyen de mort par cancer actuellement est d'environ 20 %. Cela signifie qu'en l'absence d'effets perturbateurs dus au rayonnement vous enregistrez un mort par cancer tous les cinq ans. Cela bien entendu si on vous a indiqué la cause de la mort pour tous les morts que vous avez connus et n'oublions pas que le cancer est une maladie « honteuse », taboue, dont on évite de parler. Donc sur une vingtaine d'années vous aurez appris la mort de vingt personnes dont quatre par cancers. Il faut prendre ces chiffres comme des ordres de grandeur car ces nombres dépendront des gens que vous connaissez : femmes, hommes, enfants, asthmatiques, etc... et de leur âge. Pour faire le bilan après ces vingt ans, il vous faudra vous souvenir de toutes ces morts et de leurs causes. Imaginons que dans le milieu où vous vivez le risque de cancer par l'irradiation artificielle ait doublé. Ceci est un risque énorme, environ 200 fois supérieur

à celui que les normes sont censées garantir. Vous enregistrez alors en vingt ans vingt-quatre morts dont huit par cancers. Pouvez-vous vous rendre compte dans ces conditions que vous vivez dans un milieu à très fort risque cancéreux ? Pouvez-vous détecter ce risque en discutant avec une personne qui, vivant dans un milieu où ce risque n'existe pas, a, comme vous, tenu la comptabilité des morts sur vingt ans ? Elle aura enregistré vingt morts dont quatre cancéreux. Ceci suppose évidemment pour que la comparaison ait un sens que cette personne connaisse des gens assez similaires à ceux que vous connaissez (âge, profession, sexe, catégorie sociale, etc...). Imaginer que nous soyons capables de faire de telles comparaisons est absurde et ceux qui nous suggèrent de les faire sont des escrocs. Pour que l'on puisse ressentir le risque il faudrait qu'il soit au moins quatre à six fois plus grand que le doublement. Ce serait un risque catastrophique. Pouvez-vous donner à partir de vos observations de vie quotidienne (sans lire aucun texte) le taux moyen de mortalité par cancers ?

L'observation de la mortalité (nombre de morts) ne vous indiquera pas non plus que vous vivez dans un milieu à haut risque. Vous enregistrez vingt-quatre morts au lieu de vingt. Pourrez-vous faire cette différence après vingt ans ? Certainement pas si vous vous fiez à votre mémoire. Si vous les avez soigneusement notés vous aurez alors à vos trousses la horde des statisticiens qui vous feront la preuve que vos observations n'ont aucune valeur statistique, qu'il faut tenir compte des fluctuations de mortalité parmi la population, etc...

De toute façon, si malgré les experts vous êtes convaincu (à condition de ne pas faire partie des huit cancéreux observés) que le risque que vous courez est grand, vous le saurez **après** avoir couru ce risque. Vous auriez probablement aimé le connaître **avant** pour éventuellement en tenir compte.

Seuls les statisticiens pourront, dans certaines conditions, se rendre compte qu'il y a quelque chose. Ils pourront dire que sur 1 000 cancéreux un certain nombre le sont devenus sous l'action du rayonnement artificiel. Ils pourront, si leur étude est bien faite, le dire avec une bonne certitude (un fort niveau de confiance, comme ils disent), mais ils ne pourront jamais identifier lesquels sont morts à cause du rayonnement.

Ces chiffres pourraient paraître bénins alors que nous les disions correspondre à un risque catastrophique. Appliqués à une population de 100 personnes ce doublement du risque de mort par cancers donne quatre morts supplémentaires en vingt ans. Appliqués à la totalité de la population française ils correspondraient à 100 000 morts supplémentaires par an, ce qui serait considérable.

Même si le risque nucléaire atteignait ce niveau énorme (les voitures prises en général comme niveau de risque très élevé font environ 13 000 morts chaque année), il ne nous serait pas possible de le détecter dans notre vie quotidienne.

Tout ceci nous choque profondément car nous ne pouvons pas nous rendre compte d'effets considérables nous concernant directement. Notre propre mort et la mort de nos amis nous échappent et pour les promoteurs de l'énergie nucléaire tout ceci n'est que fantasme et imagination en délire. Mais cette mort, bien que statistique, n'en est pas moins parfaitement réelle.

LE REM

Pour caractériser une certaine quantité de rayonnement, on définit d'abord le rad. C'est la quantité de rayonnement qui, en traversant de la matière, cède à cette matière une certaine quantité d'énergie par gramme de matière traversée. Le rad est une grandeur physique bien définie, mais il est insuffisant pour caractériser les effets biologiques car ceux-ci dépendent de la nature du rayonnement ionisant (X, γ , β , α , neutrons). Il faut donc définir une autre grandeur, l'équivalent (biologique) de dose. C'est le rem. Cette grandeur est obtenue en multipliant le rad par des coefficients qui dépendront du rayonnement :

$$\text{rem} = \text{rad} \times Q \times N.$$

Le facteur de qualité Q est assez bien défini, il dépend de la façon dont le rayonnement va être arrêté par la matière. Il sera d'autant plus grand que le pouvoir d'arrêt de la matière sera plus grand pour ce rayonnement. Dans la pratique la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIRP) a donné des valeurs standards pour Q, valeurs reprises dans les normes légales nationales :

rayons X et électrons	1
neutrons rapides, protons	10
particules	20.

Le facteur N regroupe tous les facteurs qui ont été négligés pour aboutir réellement aux effets biologiques. Pour le moment la CIPR recommande $N = 1$. Ceci revient à admettre que les effets biologiques ne dépendent pas de la façon dont les doses sont reçues : doses faibles fractionnées ou doses plus importantes reçues en une seule fois, façon dont les radioéléments se fixent dans l'organisme, etc...