

# Radioactivité : les normes qui tuent

*Un thème trop souvent invoqué par les tenants du nucléaire est qu'il existerait des "seuils raisonnables" de radioactivité. C'est faux : des travaux récents dénoncent le danger des "faibles doses". Une seule radiographie pratiquée sur une femme enceinte peut condamner son enfant à la mort par leucémie avant l'âge de 4 ans. Ce qui n'empêche pas les Etats de la Communauté européenne, soucieux des impératifs économiques, de s'apprêter à adopter de nouvelles normes pour l'industrie nucléaire, plus souples que les précédentes, sous l'égide de la Commission internationale de protection radiologique.*

● Marie Curie est morte de leucémie sans connaître les dangers des radiations auxquelles elle s'exposait. Il y a une trentaine d'années, certains médecins n'hésitaient pas à bombarder leurs clients de rayons X pour une simple carie ou une bronchite ! Pendant très longtemps, le danger radioactif a été associée à la seule bombe atomique, à Hiroshima et Nagasaki. Ce n'est qu'avec le mouvement écologiste du début des années 1970, alors que l'industrie nucléaire était déjà en plein essor, que s'est développée la notion de risque nucléaire civil. De Three Mile Island<sup>(1)</sup> à Plogoff<sup>(2)</sup>, cette notion est désormais bien ancrée dans les esprits. Mais elle reste souvent attachée aux seuls accidents spectaculaires qui représentent certes le risque le plus grave, mais non le plus probable. Et cela masque le danger tout aussi réel des émissions faibles dues au fonctionnement normal d'une centrale nucléaire ou à une banale radiographie médicale. Aujourd'hui, c'est sur ce danger-là que certains spécialistes s'efforcent d'attirer l'attention du public.

Les choses se réduisent à une formule simple : *il n'y a pas de radioactivité négligeable, toute radioactivité peut être dangereuse*. Par conséquent, il n'y a pas non plus de seuil d'irradiation acceptable, en dessous duquel les risques courus seraient mineurs. Or toute la réglementation relative à la sécurité nucléaire est justement basée sur la notion de seuil ! La rejeter, c'est du même coup renoncer à établir quelque norme que ce

soit, puisque la seule règle possible serait alors d'interdire toute cause d'irradiation...

On comprend la difficile position de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), organisme qui depuis un demi-siècle se charge d'établir, malgré tout, des normes. Position acrobatique, puisque la CIPR elle-même avait déjà émis, il y a vingt ans, l'idée qu'il n'existe pas de seuil, que ce soit pour une dose unique ou pour des doses cumulatives. A s'en tenir à cette vérité toute crue, la Commission pouvait aussi bien se dissoudre aussitôt, n'ayant plus de raison d'être... Elle préféra s'orienter vers une autre vérité, celle des statistiques. A savoir que des millions de personnes ont reçu des doses importantes de rayons X sans être atteintes de cancer, par exemple. Ou que les habitants de régions à forte radioactivité naturelle ne sont pas nécessairement frappés par la maladie. Les experts de la CIPR — médecins pour la plupart, mais il s'y trouve aussi, de plus en plus souvent, des membres de diverses commissions nationales de l'énergie — établissent donc des normes. Ils se basent sur des observations de malades irradiés, sur des études de l'irradiation naturelle et d'autres portant sur l'animal, sur les rapports concernant les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki. De savants calculs aboutissent à des recommandations d'où le flou artistique n'est pas toujours absent, comme le montre ce bref résumé historique :

● 1934 : la CIPR recommande une irradiation maximale de 46 rem/an par travailleur (pour la définition du rem, voir encadré p. 73).

(1) Voir S. et V. n° 755.

(2) Voir S. et V. n° 751.

● 1954 : elle juge préférable de réduire les expositions "au plus bas niveau possible"...

● 1956 : 5 rem/an, soit neuf fois moins qu'en 1934.

● 1958 : la CIPR recommande de maintenir toutes les doses à des valeurs "aussi faibles que possible" et, tant qu'à faire, d'éviter toute exposition inutile.

● 1965 : nouvelle version, maintenir les doses aux valeurs les plus faibles auxquelles on peut parvenir sans difficulté "compte tenu des facteurs économiques et sociaux". Un vœu pieux.

● 1977 : réédition du vœu pieux : les expositions doivent être maintenues à un niveau aussi faible qu'il est "raisonnablement possible".

Édifiant. A mesure que l'industrie nucléaire croît et prospère, les règlements partent en queue de poisson ! Un hasard ? Oh que non ! « Notre destin n'a pas toujours été facile, car il fut un temps où certains de mes collaborateurs étaient rétrogradés ou perdaient leur travail parce qu'ils refusaient de céder aux pressions quant aux normes et aux compromis pour accepter des conditions non suffisamment sûres. » Qui tient ces propos virulents ? Karl Morgan, ancien président de la CIPR... Voir aussi la *Recommandation 26* de la CIPR (1977), sur laquelle s'appuie entièrement la proposition de texte législatif de la Commission des communautés européennes de 1978, actuellement en cours de discussion au niveau inter-États. Certaines règles précises ont été purement et simplement supprimées. Par exemple celle qui préconisait de ne pas dépasser 2,5 rem en une seule prise (les 5 rem représentant un total annuel que l'on suppose réparti en petites doses : ce n'est pas la même chose de recevoir une balle dans le cœur, ou le même poids de limaille dans tout le corps. Ou celle qui limitait les doses totales reçues au cours d'une vie, selon la formule  $5(N - 18)$ ,  $N$  représentant l'âge de l'individu ; ce qui signifiait, par exemple, qu'un homme de 22 ans travaillant depuis 4 ans dans le nucléaire et qui, à la suite d'une irradiation accidentelle, aurait dépassé la dose autorisée pour son âge, soit  $5(22 - 18) = 20$  rem, ne devait subir aucune irradiation l'année suivante.

Mais nous n'allons pas gêner nos belles centrales pour quelques morts de plus, n'est-ce pas ? Morts programmées, disent les mauvaises langues... Mais non, rétorquent les tenants du nucléaire à tout prix, morts inévitables, d'ailleurs pas plus nombreuses que dans d'autres industries ! Drôle de philosophie démocratique, qui érige le risque professionnel — et même le risque tout court — en vertu, et la sécurité en vice ! La Commission en arrive même à prévoir que « dans de rares cas il peut se produire, en marche normale, des situations telles qu'il peut être nécessaire d'autoriser quelques travailleurs à recevoir des équivalents de doses dépassant les limites recommandées ». Pour la CFDT, tout comme pour le Groupement des scientifiques pour l'information sur l'énergie nucléaire (GSIEN), c'est la porte ouverte aux abus.

Pour l'ensemble d'une collectivité, la règle préconisée par la CIPR veut qu'on ne dépasse pas la dixième de la dose maximale admissible. Autrement dit, la moyenne annuelle pour un membre de la collectivité doit être en dessous de 0,5 rem (même si certains individus reçoivent une dose très supérieure). Bien souvent, cette règle n'est pas respectée, malgré des précautions qui ne se trouvent dans aucune autre industrie (en 1970, à la centrale américaine d'Indian Point, une réparation très sérieuse nécessita l'intervention de... 1800 soudeurs, là où, dans un autre secteur, deux ou trois auraient suffi !). Le vieillissement des installations signifie des interventions plus fréquentes et des niveaux d'irradiation et de contamination plus élevés ; la révision complète du circuit primaire tous les dix ans entraîne des risques supplémentaires.

### COMMENT MESURER LA RADIOACTIVITÉ

**Le curie** mesure l'activité en nombre de désintégration par seconde d'une source radioactive. Un curie = 37 milliards de désintégrations par seconde, soit environ l'activité d'un gramme de radium 226. On utilise surtout ses sous-multiples : le millicurie (millième de curie), le microcurie (millionième de curie), le nanocurie (milliardième de curie) et le picocurie (millième d'un nanocurie).

**Le rad** mesure la dose reçue, c'est-à-dire la quantité d'énergie absorbée par unité de masse de matière. Un rad correspond à l'absorption d'une énergie de 100 ergs, soit 1/100 000 de watt-seconde, par gramme de matière irradiée. Cette unité ne suffit pas pour apprécier les effets biologiques, qui dépendent également du type de rayonnement ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , X, neutrons) qui possède une plus ou moins forte densité d'ionisation.

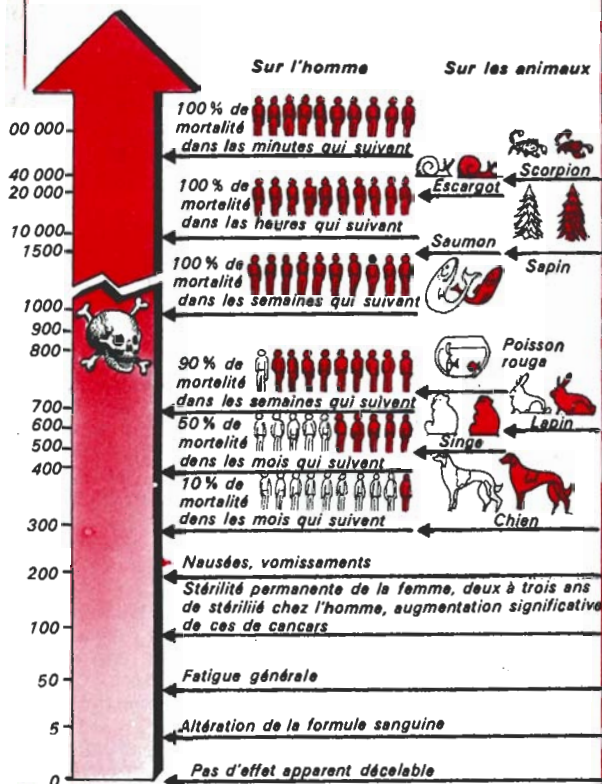
**Le rem** est l'unité biologique d'équivalent de dose. Il est égal au produit de la dose absorbée (en rad) par un "facteur de qualité" qui évalue la plus ou moins grande nocivité d'un type de rayonnement ; ainsi pour les rayons bêta, gamma ou X, qui ont une moins forte densité d'ionisation que les rayons alpha par exemple, ce facteur de qualité est égal à 1 (1 rad = 1 rem) ; pour les neutrons, il est égal à 10 et pour les rayons alpha à 20. □

Le simple arrêt annuel d'un réacteur PWR au moment où on le recharge est responsable de 70% de la dose reçue par l'ensemble du personnel<sup>(3)</sup>. Aux dires même de certains agents EDF qui ont vécu l'événement, le seul objectif qui compte alors est de redémarrer le plus vite possible. Panique, manque de coordination accroissent les risques. Tel travailleur, arrivé trop tôt sur le chantier, recevra des doses inutiles en attendant le début de son intervention. Un autre se débarrassera de ses protections vestimentaires et advienne que pourra !

(3) Les études entreprises par EDF et le CEA ont montré que les doses prises lors de l'arrêt de tranche annuel ont pour origine essentielle les produits de corrosion qui se déposent dans le circuit primaire, particulièrement le cobalt 60 formé sous flux neutronique à partir du cobalt 59.

## RADIOACTIVITÉ : L'ÉCHELLE DES RISQUES

Toutes les espèces ne présentent pas la même sensibilité aux rayonnements ionisants. Ainsi, il faut cent fois plus de rem pour tuer un scorpion que pour tuer un homme. En gros, plus les espèces sont



biologiquement développées, plus elles sont sensibles. Un escargot peut supporter une dose 50 fois plus élevée qu'un homme, une guêpe 250 fois et les bactéries davantage encore. Dans ce tableau, les doses correspondent à une irradiation unique externe de tout l'organisme.

Que ce soit dans les centrales, les usines de retraitement ou les mines d'uranium, des études montrent que la barre des 0,5 rem pour les doses individuelles moyennes est bien souvent franchie. Mieux, selon la Nuclear Regulatory Commission (la commission de contrôle nucléaire américaine) les centrales à eau légère<sup>(4)</sup>, telles qu'on les construit en France actuellement, irradieraient beaucoup plus qu'on ne l'avait supposé. Et beaucoup plus que les centrales graphite-gaz, abandonnées, dans notre

(4) Le procédé à eau légère LWR (Light Water Reactor) est utilisé dans deux types de centrales: les BWR (Boiling Water Reactor) à eau bouillante, et les PWR (Pressuring Water Reactor) à eau pressurisée adoptées en France.

pays, au profit du procédé Westinghouse.

Des chercheurs du GSIEN ont évalué la dose reçue en moyenne par le personnel d'un site à quatre tranches de 900 mégawatts PWR tel que Gravelines, Tricastin ou Bugey. Sachant qu'un arrêt normal de tranche pour rechargement représente 50 rem ; une révision décennale, 1 000 ; et que les 600 employés de l'EDF présents constituent 45% de l'effectif total de la centrale (les autres provenant d'entreprises extérieures) ; un simple calcul montre alors que la dose moyenne annuelle, intégrée sur 10 ans, est de :

$$D_m = \frac{50 \times 9 + 1000}{600 \times 10} \times 4 \times 0,45 = 1,65 \text{ rem.}$$

Et cette moyenne n'empêche pas que certains groupes, plus exposés, recevront 2,5 ou 3 rem ; des doses qui sont observées, depuis 1970, dans une centrale telle que Chooz (PWR, 300 MW).

Pour obtenir une appréciation globale d'une irradiation collective, on a défini une nouvelle unité, l'homme-rem (h-rem). Un équivalent de dose, exprimé en homme-rem, se calcule en additionnant toutes les doses individuelles reçues par chaque travailleur. Exemple: supposons qu'une opération donnée nécessite l'emploi de dix personnes et qu'au cours de l'opération chaque personne reçoive 1 rem. On dira que l'opération coûte  $1 \times 10 = 10$  h-rem. Si maintenant on n'utilise que deux personnes, qui reçoivent 5 rem chacune, l'opération coûte toujours  $5 + 5 = 10$  h-rem, bien que cela ne représente pas du tout la même irradiation pour les deux individus en question. L'homme-rem ne prend donc pas en compte le détail des doses individuelles.

Les astuces arithmétiques qui permettent de diluer les doses individuelles trop fortes ne manquent pas. On peut, par exemple, comptabiliser des personnes non exposées aux rayonnements, telles que gardiens ou secrétaires<sup>(5)</sup>. Ce qui fait évidemment baisser la dose moyenne du personnel d'un établissement.

On peut aussi engager des intérimaires. La consommation de personnel extérieur manifeste depuis une dizaine d'année une certaine tendance à l'augmentation. Du moins si l'on en juge par l'évolution des doses collectives — pour le personnel statutaire et le personnel extérieur — représentée ci-dessous dans le cas de la centrale de Chooz :

Année	Personnel statutaire en h-rem	Personnel extérieur en h-rem	Total en h-rem
1971	160	65	225
1972	218	41	259
1973	302	93	395
1974	270	727	997
1975	325	210	535
1976	286	490	983
1977	121	109	230
1978	189	323	512

(5) Ils portent, comme les travailleurs exposés, des dosimètres, sortes de pochettes munies de films sensibles qui se voient en fonction de l'intensité des radiations reçues : on les porte au revers, on les change périodiquement et on les archive.

Au centre de retraitement de La Hague, tendance analogue, comme le montre ce tableau des pourcentages respectifs des statutaires et des extérieurs (les pourcentages portent sur la dose d'irradiation totale) :

Année	Personnel statutaire	Entreprises extérieures
1972	72,5%	27,5%
1973	59,1%	40,9%
1974	56,6%	43,4%
1975	46,3%	53,7%
1976	45,8%	54,2%
1977	58%	42%

Pour l'ensemble des centrales électronucléaires en Europe, c'est encore plus net :

Année	Personnel statutaire	Entreprises extérieures
1970	52,2%	47,8%
1971	38,6%	61,4%
1972	44,3%	55,7%
1973	55,6%	44,4%
1974	44,7%	55,3%
1975	44%	56%

Ainsi, les travailleurs intérimaires récoltent de plus en plus de radiations ; et comme ils risquent de migrer d'une centrale à une autre, leur dose individuelle moyenne pourra atteindre 3 à 5 rem par an, sinon davantage. Mais ça ne se verra pas dans les moyennes...

Petit problème pour exploitant de centrale nucléaire : voici une opération qui devra coûter 100 hommes-rem ; faut-il employer 50 personnes qui absorberont 2 rem chacune ou 100 qui n'en prendront qu'un ? Sachant qu'un individu, qui peut prendre 5 rem par an, coûte 150 000 F, combien coûte un homme-rem ? Combien le kilo de « viande à rem » ?

Véritable étalon universel, l'homme-rem sert aussi à évaluer les risques génétiques à l'échelle d'une population. Il est vrai qu'il représente la dose collective. Toujours la moyenne... A croire qu'on est malade ou qu'on meurt « en moyenne » !

« Les doses admissibles de rayonnement ionisants disséminées au sein d'une large population ont été fixées à des valeurs qui doublent à peu près l'irradiation naturelle », déclarait le docteur Latarget, de la Fondation Curie, il y a quelques années devant la Commission de l'Énergie du VII<sup>e</sup> Plan. Vues ainsi, ces doses admissibles apparaissent comme inoffensives. Mais il aurait fallu mentionner que les petites populations autour des centrales sont davantage concernées que la « large population » quelque peu diluante. M. Latarget ajoutait qu'« un polluant peut être considéré comme indispensable dès l'instant que ses avantages l'emportent sur ses inconvénients ».

Une Anglaise, Alice Stewart, établit, il y a une vingtaine d'années, que l'augmentation du nombre de leucémies et de cancers chez les petits Anglais était en rapport direct avec les ra-

## IL EXISTE AUSSI UNE RADIOACTIVITÉ NATURELLE

Des mesures ont montré que la récente éruption volcanique de Mount St. Helens, en Californie, avait dégagé une dose de radioactivité nettement supérieure à celle provoquée par l'accident de Three Mile Island.

Bien avant qu'on la découvre, au début du siècle, la radioactivité naturelle bombardait insidieusement la planète d'un nombre incalculable de particules. Le Soleil et les étoiles sont en effet le siège permanent d'explosions comparables à celles des bombes atomiques et, malgré la couche d'air qui entoure la Terre, une partie des rayonnements qu'ils émettent nous parviennent. Ainsi, en même temps que la chaleur et la lumière, des rayonnements ionisants voyagent à travers l'espace jusqu'à la surface de notre planète.

La dose à laquelle nous soumet le rayonnement cosmique en France est très faible : de l'ordre de 30 mrem par an (encadré p. 73). Elle varie avec la latitude et surtout l'altitude puisque la couche d'air au-dessus de nos têtes est moins épaisse au fur et à mesure que l'on s'élève au-dessus du niveau de la mer. Ainsi entre le niveau 0 et 3000 m cette dose passe du simple au triple.

A cette source cosmique, il faut ajouter la radioactivité d'origine tellurique. La matière qui compose notre planète est en effet formée de multiples combinaisons d'éléments qui présentent chacun des propriétés chimiques bien particulières. En réalité chacun de ces éléments est un mélange de plusieurs corps appelés isotopes dont certains sont stables et d'autres radioactifs ; ces derniers ne se trouvent qu'en très faible proportion, généralement quelques millièmes. Par exemple, l'uranium qu'on extrait dans les mines est un mélange à 99,7% d'isotopes stables et à 0,3% d'isotopes radioactifs.

L'isotope radioactif le plus répandu dans la nature est le potassium 40, présent dans le potassium à 0,012%. La radioactivité dégagée par le potassium 40 et la famille du thorium et de l'uranium, ainsi que par d'autres corps radioactifs en quantité infime, avoisine 45 mrem par an en France. Mais sur des sols granitiques, elle peut être plus élevée.

Il faut encore ajouter les gaz radioactifs, principalement du radon, qui proviennent de la croûte terrestre : 5 mrem par an.

Les différents types de radioactivité énumérés ci-dessus, provoquent une irradiation externe. Mais il existe aussi une irradiation interne naturelle, due en grande partie au potassium 40, au carbone 14 et à d'autres radioéléments contenus dans l'eau et les aliments ; elle peut atteindre 25 mrem par an.

Respirant, buvant, mangeant, nous sommes donc irradiés malgré nous en permanence, mais à très faible dose. A titre d'exemple, le corps d'un homme adulte contient environ 2,2 g de potassium par kilo, un gramme de potassium naturel contenant environ 1000 picocurie (pCi) de potassium 40, on peut en déduire qu'un individu de 80 kg émet une radioactivité d'au moins 176 000 pCi, soit près de 400 000 désintégrations à la minute. □

diographies administrées à leurs mères pendant la grossesse. Cela fut vérifié : les risques de cancer pour l'enfant sont 16 fois plus élevés lorsque celui-ci a été irradié, au stade du foetus, pendant les trois premiers mois de sa gestation.

Mais la prise de conscience au niveau du public n'a vraiment progressé qu'après une étude publiée en 1977 et effectuée par un groupement anglais d'opposants à l'énergie nucléaire, le Windscale Appeal, qui indiqua que le taux de cancers parmi les ouvriers de l'usine de retraitement de Windscale, en Grande-Bretagne, serait de 20% supérieur à la moyenne nationale. Pis : les taux de trois types spécifiques de cancers de la moelle des os (leucémie, lymphosarcome et myélome), seraient, eux, supérieurs de 87% à la moyenne. Chiffres d'autant plus troublants que ces ouvriers-là sont soigneusement sélectionnés pour leur bonne santé. Et qu'ils sont justement soumis à des faibles doses.

En 1976, Alice Stewart fut appelée à renforcer l'équipe d'un chercheur de l'université de Pittsburgh, Thomas Mancuso, en même temps qu'un statisticien britannique, George Kneale. Objectif de Mancuso : rééditer les études de Windscale sur les travailleurs du centre nucléaire, américain cette fois, de Hanford. C'est un centre militaire où l'on ne manipule que des combustibles faiblement irradiés. Vaste travail : l'équipe Mancuso-Stewart-Kneale passa au crible les dossiers de 35000 travailleurs, dont 23755 avaient été exposés, entre 1944 et 1977, à "faibles doses", d'ailleurs enregistrées par des contrôles de leurs dosimètres. Sur ces 23755 travailleurs, 4033 étaient décédés, dont 832 de cancers (743 hommes et 89 femmes). Et sur les 743 hommes, 35 à 40 étaient morts de cancers provoqués par les rayonnements. A Hanford plus qu'ailleurs, les cancers frappaient des tissus connus pour être plus sensibles à la radioactivité : moelle osseuse, pancréas, poumons. Or la CIPR n'avait prévu, pour la totalité des travailleurs, que 3 à 4 cancers ; autant dire que ses prévisions avaient été dix fois trop faibles et les doses qu'elles avaient fixées, 10 fois trop fortes.

Alice Stewart profita de l'occasion pour tor dre le cou aux méthodes utilisées par la CIPR pour établir des seuils de tolérance. Ces méthodes, fit-elle observer, se fondent sur l'étude des survivants de Hiroshima et de Nagasaki et sur des malades soignés par radiothérapie. « Ce sont là des populations anormales et non représentatives de l'ensemble de la population. » En effet, autant aller mesurer l'indice de popularité d'un ministre de la Justice chez les condamnés de droit commun. En ce qui concerne les statistiques tirées des malades soumis à une radiothérapie intensive, on néglige un fait pourtant non négligeable : ils risquent de mourir de "leurs cancers à eux" avant que les cancers éventuellement provoqués par la radiothérapie soient devenus, eux, observables. Quant à la leucémie, cancer-type radio-induit, c'est une maladie du système immunologique. Celui-ci étant défaillant, le risque de mourir de pneumonie alors

qu'on est leucémique est multiplié par 300. Quand le malade décède, on conclut "pneumonie", sans avoir eu le temps de déceler une leucémie. C'est un peu comme si, sur un mort de la route, on portait le jugement suivant : mort d'une fracture du nez !

Quant aux statistiques tirées des survivants de Hiroshima et de Nagasaki, elles ne valent pas mieux, selon Alice Stewart : en fait, les explosions ont sélectionné une population résistante. Ceux des Japonais qui étaient encore en vie 5 ans après ces deux bombardements étaient vraiment des gens résistants...

A s'en tenir à de telles données, on finirait par croire que le seuil de tolérance se situerait à 100 rem, ce qui est une dose extraordinairement forte. Des doses infiniment plus faibles peuvent déclencher des cancers, témoins les analyses fines ci-dessous dressées par Mancuso-Stewart-Kneale :

<b>Dose en rad/homme</b>	<b>Nbre de morts par cancer</b>	<b>Nbre d'autres morts</b>	<b>Pourcentage de morts par cancer</b>
<i>moins de 0,08</i>	256	1 068	19,3
<i>0,08 à 0,32</i>	131	592	18,1
<i>0,32 à 0,64</i>	119	428	21,8
<i>0,64 à 1,28</i>	123	448	21,5
<i>1,28 à 2,56</i>	91	320	22,1
<i>2,56 à 5,11</i>	48	147	24,6
<i>plus de 5,11</i>	64	198	24,4

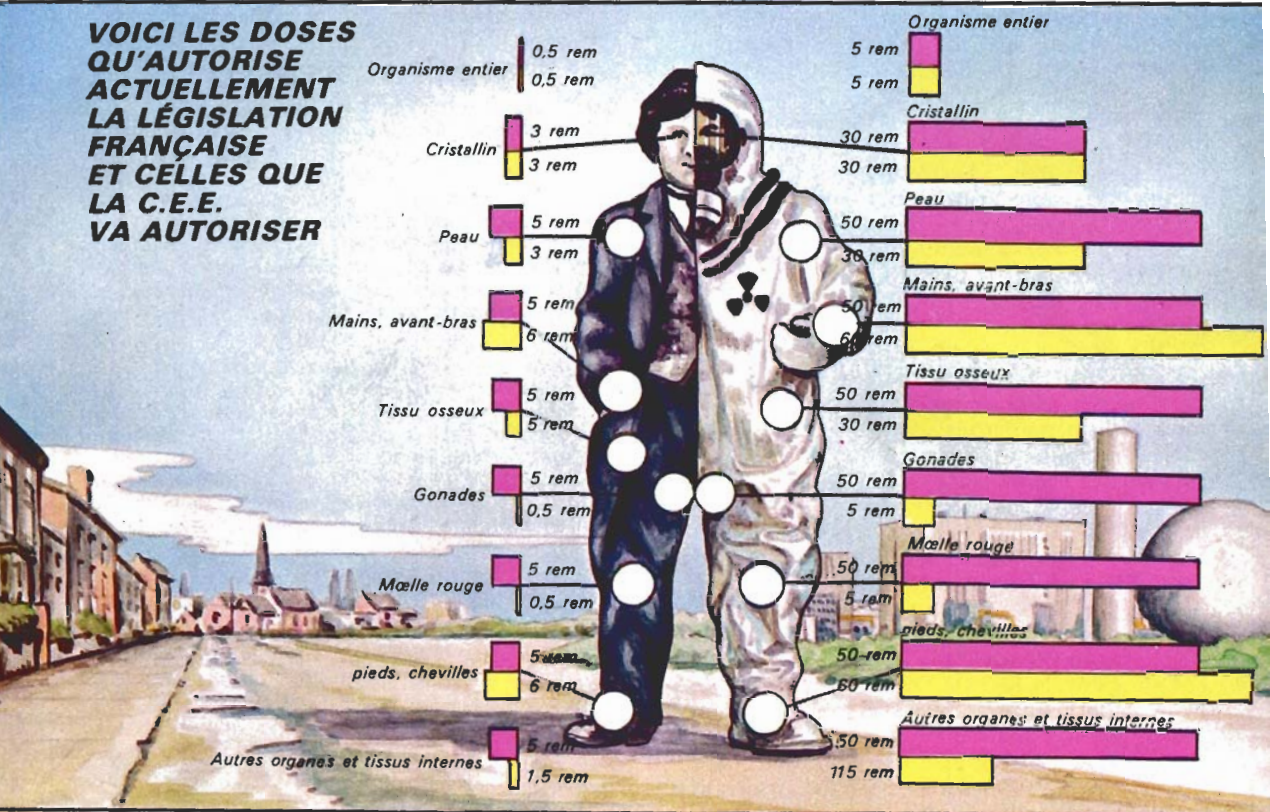
0,08 rad (encadré p. 73), c'est peu, apparemment très peu (trois fois moins que la dose délivrée lors d'une radio des poumons). Pourtant, l'écart entre le taux de cancers qu'une si faible dose semble avoir provoqués et le taux de cancers provoqués par une dose cinquante fois supérieure est étonnamment faible : de 19,3% à 24,4%.

Véritable "J'accuse" dont la portée est immense, l'étude Mancuso-Stewart-Kneale avait été financée par l'équivalent américain du Commissariat à l'énergie atomique. Elle faillit ne jamais voir le jour. On imagine aisément que les responsables de toutes les agences de l'énergie atomique des États-Unis et du monde s'agitèrent beaucoup. On essaya de mettre Mancuso à la retraite anticipée, on recourut à tous les moyens de bonne et de mauvaise guerre pour étouffer des travaux qui indiquent ceci : il faut encore diviser par 10 les doses maximales admissibles. Ce qui augmenterait considérablement le coût de l'énergie nucléaire. Et ce qui la rendrait beaucoup moins compétitive.

Depuis trois ans, c'est-à-dire depuis la publication de ces données, la querelle fait rage entre les partisans de Mancuso-Stewart-Kneale, qui pourtant ne se fondent que sur des faits, et ceux des anciennes normes de la CIPR. Les commentaires là-dessus seraient superflus.

Mais les mauvaises querelles sont généralement malchanceuses : de même que les tenants de la génération spontanée, au temps de Pasteur,

**VOICI LES DOSES QU'AUTORISE ACTUELLEMENT LA LÉGISLATION FRANÇAISE ET CELLES QUE LA C.E.E. VA AUTORISER**



Fixées par un décret du 20 juin 1966, les normes françaises en matière de radioprotection (en jaune), sont directement inspirées des recommandations de la Commission internationale de protection radiologique. Les "doses maximales admissibles", évaluées en rem, concernent deux catégories d'individus: les professionnels du nucléaire et les personnes du public. Actuellement, les Communautés européennes examinent la dernière recommandation de la CIPR et les normes vont changer sous quelques mois. En rouge, les normes futures, qui, pour certains organes ont augmenté d'un facteur 10.

durent subir l'avalanche de faits qui démontrent que les souris ne naissent pas spontanément dans le linge sale, les détecteurs des "faibles doses" reçoivent de plus en plus de pavés sur le crâne. Parmi ces derniers, il faut citer un quatrième dossier, publié en 1979, sur les dangers des émissions faibles: c'est celui de Portsmouth, aux États-Unis. Une enquête de médecins de Boston et de biostatisticiens du New Hampshire, réalisée sur les ouvriers du chantier naval de Portsmouth où les sous-marins nucléaires sont rechargés et réparés, a révélé des taux de cancers 75% plus élevés que les taux moyens d'une population non exposée. Six fois plus de leucémies, deux fois plus de cancers.

Les pièces à conviction ne manquent plus. Une autre étude, effectuée en 1972 mais qui n'avait pas attiré l'attention à l'époque, mettait en évidence une augmentation, encore "légère", de la mortalité infantile dans un rayon de 15 km autour des centrales PWR d'Indian Point. Cet accroissement semble d'autant plus significatif que: a) il semble proportionnel aux gaz déchargés dans l'air par la centrale; b) il varie selon la situation des populations par rapport aux vents dominants; c) il diminue au-delà d'un rayon de

15 km autour des centrales.

Toujours aux États-Unis, les organismes officiels de protection de la santé, avaient lancé une vaste campagne pour convaincre les travailleurs du nucléaire d'autoriser leur autopsie. 819 individus travaillant en zone plutonium ont donné leur accord. Les 30 premières autopsies effectuées avant 1975 montrent que, par rapport à l'ensemble de la population, il y avait 80% de cancers supplémentaires; 10 fois plus de leucémies; 30% de cancers pulmonaires supplémentaires pour des contaminations comprises entre 1/5000 et 1/10 de la norme relative au plutonium.

Encore un dossier (cela en fait sept d'énumérés): un rapport commodément "oublié" depuis 1965 et qui est brusquement réapparu dans la presse en 1979 avec fracas. Il révèle un nombre extrêmement élevés de leucémies, de malformations congénitales et de déficiences mentales parmi les quelque 20000 habitants d'une région de l'Utah, non loin du champ de tir nucléaire du Nevada, où plus de 80 tirs d'essais d'armes nucléaires ont pollué l'atmosphère de 1951 à 1962: 9 fois plus de leucémies que dans une population moyenne.

Devant cette multiplication des révélations sur les dangers des "faibles doses", les langues commencent à se délier: M. Karl Morgan, pourtant ancien président de la CIPR, annonce 3 000 morts supplémentaires parmi la génération née dans les années soixante, 30 000 de plus pour la suivante. Et au suivant! Deux chercheurs américains, Tamplin et Gofman, annoncent, eux, 32 000 cancers et leucémies de plus si l'on impose aux populations — pas les américaines seulement — un taux d'irradiation supplémentaire de seulement 0,17 rem par an durant 30 ans.

Cela devient parfois fastidieux que de se référer aux seuls États-Unis; nous serions contents de pouvoir mentionner des travaux français. Nous n'en connaissons pas. La seule note française que nous puissions mettre dans ces pages est une déclaration que nous a faite le Pr Jean Bernard, éminent hématologue de l'hôpital Saint-Louis, à Paris: « On sait et on peut se protéger contre les radiations. Il suffit d'y mettre le prix. Si nous ne sommes pas capables, en France, de construire cinquante centrales nucléaires avec les moyens de protection adéquats, eh bien n'en construisons que cinq. »

Cela étant, la réalisation du programme électro-nucléaire français se poursuit à vive allure. Pétrole oblige. Mais le nombre d'opposants au nucléaire aussi progresse: 31% en octobre 78, selon l'IFOP, 40% en décembre 79. Les risques des émissions faibles n'ont été évoqués, dans la seule presse spécialisée, qu'assez faiblement... Le grand public n'en est pas informé. La seule modification au *statu quo ante* reste quasiment à la discrétion des médecins: c'est le droit d'un patient à refuser les radiographies pulmonaires dites "de contrôle", telles que les pratiquait autrefois annuellement la médecine du travail. La seule information à ce propos est dispensée par les seuls médecins du travail qui informent individuellement les travailleurs de leur droit à refuser une radio pulmonaire.

Les tenants du nucléaire, eux, ont beau jeu, dans ce désert d'information, de prétendre que la radioactivité artificielle n'est pas plus grave que la naturelle, supportée depuis toujours par les humains, que les risques des émissions faibles de l'atome civil ne sont pas pires que ceux que l'on encourt en se mettant au volant, etc. Or, si ce fatalisme est une attitude, la politique de l'autruche en est une autre. Les spécialistes qui invoquent la radioactivité naturelle semblent bien, à cet égard-là, être des autruches: il ne peuvent ignorer que la radioactivité naturelle, en France du moins, ne peut pas être assimilée aux émissions faibles des centrales nucléaires et des centres de retraitement. Elle ne dépasse guère 100 millirem par an, soit 1/100 de rem. Et surtout, cette radioactivité naturelle à laquelle nous sommes tous soumis est à 80% une irradiation externe (encadré p. 75). Seuls les rayonnements gamma présentent alors de réels dangers puisque les alpha et bêta sont facilement freinés par les murs et la peau.

## $\alpha, \beta, \gamma$ : TROIS DANGERS DIFFÉRENTS

*Il y a deux types fondamentaux de désintégrations radioactives:  $\alpha$  et  $\beta$ , qui sont le plus souvent accompagnés d'émission  $\gamma$ . En effet, lors d'une transformation nucléaire, qui n'est ni plus ni moins qu'un choc au sens de la mécanique classique, après désintégration  $\alpha$  ou  $\beta$  (suivant la nature de l'élément), le noyau est très souvent dans un état excité. Il se désexcite spontanément, le plus souvent instantanément, par émission de photons: c'est le rayonnement  $\gamma$ .*

*Les particules  $\alpha$  et  $\beta$ , porteuses de charges électriques interagissent avec des électrons orbitaux des atomes du milieu qu'elles traversent en leur cédant de l'énergie; sous le choc de la particule, l'électron change d'orbite, ce qui excite l'atome; il peut aussi se séparer de l'atome qui devient un ion positif, l'électron devenant un ion négatif: c'est l'ionisation, phénomène affectant gravement la matière vivante.*

### $\alpha$ :

*C'est une émission de noyaux d'hélium (ou hélions, ou particules  $\alpha$ ), chargés positivement par des nucléides lourds. Ces noyaux d'hélium sont arrêtés par une simple feuille de papier. Une particule de 1 MeV ne peut traverser au maximum que 8 cm d'air, 0,0004 cm d'eau et 1/100 de millimètre de tissus vivants. En revanche, ils deviennent les plus dangereux lorsqu'ils sont absorbés par l'organisme car ils sont les plus ionisants.*

### $\beta$ :

*C'est une émission d'électrons négatifs (ou négatons ou particules  $\beta^-$ ) ou positifs (ou positons ou particules  $\beta^+$ ). Bien que peu pénétrants, ils le sont davantage que les précédents. Ces électrons sont arrêtés par une feuille d'aluminium de quelques millimètres d'épaisseur. Une particule de 1 MeV traverse environ un mètre d'air, 4 mm d'eau et 1 cm de tissus vivants. Moins ionisants que les particules  $\alpha$ , ils sont néanmoins dangereux pour l'organisme.*

### $\gamma$ :

*C'est une émission de photons d'origine nucléaire, (grain d'énergie constituant le rayonnement électromagnétique). Ce sont les rayonnements les plus pénétrants. Ils ne sont arrêtés que par des matériaux lourds comme le plomb ou le béton; un photon de 1 MeV parcourt environ 14 cm dans l'eau. Bien qu'il ne soit pas directement ionisant, ce type de rayonnement provoque des chocs sur les électrons périphériques des atomes du milieu qu'il traverse leur communiquant une partie ou la totalité de son énergie. Ce sont ces électrons qui produisent alors des effets d'ionisation.*

De plus, les radio-éléments naturels lourds, qui n'ont subsisté depuis la création du monde (il y a 4,5 milliards d'années) que parce que leur période de désintégration est extrêmement longue, ainsi que les isotopes naturels légers ont tous une activité très faible. Très différente est la contamination à laquelle nous exposent les effluents liquides ou gazeux des installations nucléaires: elle est bien plus dangereuse, en dépit de l'expression consacrée "faibles doses". Il

est donc illogique d'évoquer la radioactivité naturelle à propos de l'industrie nucléaire.

D'ailleurs, cette notion de "naturel" est elle-même contestable. Si, en France, la radioactivité naturelle est de fait négligeable, celle qui sévit dans d'autres pays du monde peut être éventuellement nocive, toute naturelle qu'elle soit. Dans l'État du Kerala, en Inde, elle oscille entre 1 500 et 3 000 millirem par an ; c'est l'une des plus élevées au monde. Or on a noté dans cet État des taux anormaux de déficiences mentales et de mongolisme. Idem dans certaines régions du Brésil.

Pour en finir avec la notion de "seuil" radioactif, signalons enfin que cette idée empruntée à la chimie n'a rien à faire en physique. En chimie, on peut soutenir à juste titre qu'il existe un taux de nocivité. Aux doses normales, le sel de cuisine, par exemple, n'est pas nocif ; et il n'a pas d'effet cumulatif. Mais 250 g de ce sel consommés en une seule fois risquent d'être dangereux. En matière de radioactivité, il semble que même des taux apparemment dérisoires soient dangereux : sur 1 000 personnes, l'exposition à 1 seul rem peut provoquer 7 cancers. Un seul rem par an ! Sur 1 million de fœtus, la même dose provoque de 300 à 3 000 leucémies. Pour mémoire, voici les équivalents des doses administrées dans les principaux types de radiographies médicales (sans tenir compte des bavures dues, par exemple, à de mauvais clichés) :

Poumons-radioscopie .....	5,5 rem
Poumons-radiophoto .....	2
Poumons-radio .....	0,024
Estomac .....	4 à 6
Hanche .....	0,03 à 3,2
Région sacro-lombaire .....	0,06 à 1,7
Rachis lombaire .....	0,015 à 0,94
Bassin .....	0,1 à 1,5
Lavement baryté .....	0,02 à 2,2
Urographie intraveineuse .....	4,5

Sans compter qu'un faisceau trop large ou une diffusion indirecte peut faire, par exemple, que dans une radio des poumons les organes sexuels soient atteints. Puis la dose dépend du patient, de sa taille, de son âge... L'Américain Irving Bross, prolongeant les études sur les dangers des irradiations de femmes enceintes, a calculé que, pour un enfant de moins de 4 ans irradié alors qu'il était fœtus, les risques de mourir de leucémie sont de 40 à 50% supérieurs à ceux des enfants non irradiés.

Statistiquement, on peut tout dire, objectent les tenants du nucléaire à tout crin et des normes de la CIPR, qui pourtant ne répugnent pas à se servir de la statistique. Statistiquement, on peut dire, selon le radiologiste britannique R.H. Mole, que la transformation d'une seule cellule peut suffire à déclencher une tumeur. Qui peut jurer de la résistance de toutes ses cellules à des émissions faibles, statistiquement ou pas ? Il n'y a pas de gentils photons. Ni d'inoffensives particules  $\beta$  ou  $\gamma$ . Et l'on ne meurt pas statistiquement.

## COMMENT LA RADIOACTIVITÉ AGIT SUR L'ORGANISME

*Il est extrêmement difficile d'évaluer avec précision la toxicité d'une source radioactive sur un être vivant.*

*L'effet est très différent suivant que cette source se trouve à l'extérieur (irradiation externe) ou à l'intérieur de l'organisme (contamination). Ainsi, les rayonnements gamma, les moins pénétrants, stoppés par une simple feuille de papier et assez peu dangereux, en irradiation externe, deviennent les plus nocifs lorsqu'ils sont absorbés par les cellules qui assurent les fonctions vitales de l'organisme, puisqu'ils sont les plus ionisants. Mais bien d'autres éléments interviennent, parmi lesquels :*

**1.** *l'activité de la source et la quantité de matière qu'elle représente (soit, grossièrement, le nombre de "particules" émises) ;*

**2.** *la nature du ou des rayonnements ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , X) et leurs caractéristiques énergétiques (plus ou moins pénétrants, plus ou moins ionisants) ;*

**3.** *la période de l'élément, fortement corrélée à l'activité et qui représente le temps nécessaire pour que la moitié de cet élément radioactif se transforme en élément stable. Plus vite éliminé, un élément à période très courte sera également plus dangereux, car plus "actif".*

**4.** *les propriétés chimiques de l'élément, qui le feront se fixer préférentiellement sur tel ou tel organe plus ou moins sensible et être plus ou moins vite éliminé de l'organisme ;*

**5.** *la résistance, l'état de santé ou l'âge de l'individu atteint : les sujets jeunes sont plus sensibles.*

*Entre l'effet physique et l'effet biologique, il y a une marge énorme. Le dépôt d'énergie est, en effet, toujours extrêmement faible. A titre d'exemple, pour un homme de 70 kg, une dose absorbée de 1 000 rads (soit 1 000 rem pour les rayons  $\gamma$ ) sur l'organisme entier correspond à une énergie totale absorbée de 0,7 joule (soit 0,17 calorie), inférieure à celle apportée par une goutte de café à peine tiède.*

*Elle est pourtant mortelle. Cela s'explique par le fait qu'en moins d'une milliseconde les réactions chimiques s'enchaînent en cascades, d'abord localement au niveau de la cellule, et entraînant ensuite des modifications profondes du métabolisme.*

*Les manifestations cliniques apparaissent beaucoup plus tardivement, quelquefois 10, 20, 30 ans après.*

*Les cellules les plus sensibles sont celles :*

- *qui se reproduisent le plus rapidement ;*
- *qui conservent le plus longtemps leur capacité de division ;*
- *qui sont peu différenciées.*

*Qu'ils soient dus à une irradiation externe ou à une contamination interne, les effets biologiques des rayonnements ionisants se manifestent :*

- *soit sur l'individu lui-même : ce sont les effets somatiques ;*
- *soit sur ses descendants : ce sont les effets génétiques ; ils peuvent se produire lorsque la cellule atteinte est une cellule sexuelle et que la structure du chromosome est altérée.*

Jacqueline DENIS-L'EMPEREUR ■