

L'accident de Tchernobyl

M. TUBIANA*

(Manuscrit reçu le 26 août 1987)

RÉSUMÉ

Deux ordres de conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl sont distingués. Les soins aux personnes irradiées ont posé deux problèmes: celui de l'évaluation des doses reçues et celui du traitement, en particulier les greffes de moelle. L'étude des conséquences à long terme nécessite l'évaluation du risque de cancer induit. Ce risque est discuté pour les différents groupes concernés: la population proche de Tchernobyl, la Russie d'Europe et l'Europe; il paraît très faible pour les deux derniers groupes. Il justifie des études prospectives dans le premier groupe, bien qu'étant donné les doses relativement faibles, il est peu probable que l'on parvienne à mettre en évidence un excès de cancer.

ABSTRACT

Two types of health effects of the Chernobyl accident are discussed. The management of the individuals who have received high doses of radiation raises two problems: 1) the biological and clinical dosimetry, and 2) the treatment, in particular the role of bone marrow allografts. The assessment of the possible long-term effects relies on the evaluation of the carcinogenic effect of low radiation doses. Three groups should be considered: the population present at the time of the accident in the immediate vicinity of Chernobyl, the population in the European part of USSR, and the European population. The dose was so small in the two latter groups that a risk assessment is extremely debatable. The effect on the population around Chernobyl should be carefully and prospectively evaluated despite the fact that, probably due to the small dose received, any effect would be extremely difficult to detect.

Plus d'un an s'est écoulé depuis Tchernobyl; de nombreux rapports, commissions d'enquêtes, colloques ou symposium ont été consacrés à cet accident et bien qu'il subsiste quelques zones d'incertitude, l'essentiel paraît maintenant être connu. Le moment est donc venu de faire le point. Nous nous baserons sur les documents présentés à la conférence de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) à Vienne, sur le rapport de l'Académie des sciences [1] et sur celui de la Commission de l'énergie américaine, ainsi que sur les rapports de la mission américaine dirigée par R. GALE qui a participé aux soins aux irradiés [2] et les nombreux articles

* Institut Gustave-Roussy II, 39-53, rue Camille-Desmoulin, 94800 Villejuif.

parus dans la presse scientifique ou médicale [3]. Nous considérerons successivement les circonstances de l'accident, les problèmes médicaux posés par les grands irradiés, la contamination radioactive et les risques à long terme que celle-ci pourrait entraîner, enfin les réactions psychosociologiques provoquées par cet accident.

I. CIRCONSTANCES DE L'ACCIDENT

Sans entrer dans les circonstances techniques de l'accident qui ont été maintes fois exposées, rappelons quelques points essentiels.

1. Le réacteur de Tchernobyl est de type uranium naturel légèrement enrichi, modéré au graphite et refroidi à l'eau. Il est conçu pour produire à la fois de l'électricité et du combustible utilisable à fins militaires. Il diffère profondément des réacteurs électronucléaires occidentaux, notamment par le fait que sa puissance augmente en cas d'arrêt du refroidissement alors que, dans les mêmes circonstances, elle diminue dans les réacteurs utilisés en Europe occidentale ou aux Etats-Unis, tels les REP*. Par ailleurs, il n'existe pas, dans ces réacteurs, d'enceinte de confinement comme dans les REP. Il faut remarquer que l'incendie du graphite de la centrale a été à l'origine de la plus grande partie de la contamination de l'air et la lutte contre cet incendie la cause essentielle des accidents humains puisque le débit de dose en certains points où s'étaient trouvés les pompiers dépassait 4 Gy/h.

2. L'accident a été causé par une extraordinaire accumulation d'erreurs humaines. Pour terminer à tout prix avant le week-end du 1^{er} mai une expérimentation menée par une équipe venue spécialement de Moscou, les consignes de sécurité ont été délibérément violées et les circuits de sécurité débranchés. D'ailleurs, plusieurs des responsables du réacteur viennent d'être condamnés en juillet 1987 à de longues années de prison (5 à 10 pour certains d'entre eux).

Rappel historique

Au moment de l'accident, 176 agents et 268 ouvriers d'une entreprise de construction étaient présents sur le site de la centrale. Le 26 avril 1986 à 1 h 30 du matin, quatre minutes après l'accident survenu sur le réacteur n° 4, les pompiers commencèrent à arriver et à attaquer les foyers d'incendie pour en éviter la propagation à la tranche voisine par le toit de la salle des machines. Il fallut environ 4 h pour maîtriser les 35 foyers d'incendie. Devant l'importance de l'accident et les risques courus par les autres tranches, la préoccupation essentielle était alors la lutte contre l'incendie et les précautions prises par le personnel furent faibles. Les pompiers étaient arrivés en vêtements légers, ils n'avaient pas de vêtements spéciaux et, semble-t-il, pas d'autre consigne que la lutte contre l'incendie. L'explosion qui a détruit l'enveloppe du réacteur, puis l'incendie du graphite contenu dans le cœur du réacteur ont entraîné le rejet dans l'atmosphère de gaz et de poussières hautement radioactifs.

* REP : Réacteur à eau sous pression, PWR en anglais.

Les débits de dose à l'intérieur de la centrale étaient extrêmement élevés et très variables dans le temps et l'espace, pouvant atteindre dans certaines zones plusieurs dizaines de Gy/h. Toute estimation de dose liée à la position des accidentés est donc impossible. De plus, les retombées et les poussières radioactives ont occasionné une contamination intense des vêtements et rendu impossible toute évaluation des doses par les dosimètres individuels en raison de leur contamination. Dans ces conditions, la seule dosimétrie possible était biologique.

Dès l'arrivée des équipes médicales, moins d'une heure après l'accident, des soins ont été donnés et 29 personnes ont été immédiatement évacuées; dans les heures suivantes, 132 personnes souffrant de nausées et vomissements ont été évacuées dans les hôpitaux du secteur. Douze heures après l'accident, une équipe spécialisée de Moscou (sous la direction du Dr A. GUSKOVA) est arrivée sur le site et un contrôle médical a été effectué sur 350 personnes. Le tri a été basé sur la symptomatologie clinique (nausées, vomissements) et les premiers résultats des numérations sanguines (lymphopénie). Plus de 200 personnes avaient présenté des symptômes cliniques d'irradiation, sur lesquelles 88 ont été hospitalisées à Kiev et 129 (les cas les plus graves) dirigées sur l'hôpital spécialisé de Moscou. Dans les premières heures ayant suivi l'accident, la décontamination des vêtements effectuée sur place est restée très incomplète. Par contre, selon certaines sources, des comprimés de 130 mg d'iodure de potassium ont été distribués au cours des heures ayant suivi l'accident.

L'estimation des doses et du pronostic effectuée au cours des premiers jours a été basée sur l'intensité et la précocité des vomissements, l'existence d'une réaction cutanée, la lymphopénie. Elle a été éventuellement confirmée par le caryotype (dicentriques) qui a été étudié chez 154 personnes. Ultérieurement (jusqu'au 14^e jour), cette classification a été affinée en se basant sur l'évolution du nombre de plaquettes et de neutrophiles. Les sujets ont été classés en quatre groupes.

Immédiatement après l'hospitalisation, ont été réalisés une anthropogammamétrie et des prélèvements sanguins et urinaires pour mesure de la radioactivité et spectrométrie gamma. Après 1 à 2 jours d'hospitalisation, le contenu en iode radioactif de la thyroïde a été mesuré. Il était inférieur à $1,8 \cdot 10^6$ Bq (50 μ Ci) au 3^e jour chez 94 % des patients et 2 à 4 fois plus important chez les autres. Chez les deux sujets les plus contaminés, la dose due à l'irradiation interne (iode et césium) a atteint 1,5 et 4 Gy. Ces deux sujets avaient, par ailleurs, reçu des doses très élevées en irradiation externe.

Quelques jours plus tard, après disparition de la contamination cutanée, des compteurs corps entier ont été utilisés. L'analyse du spectre gamma a identifié plus de 20 radioéléments dont l'iode 131 et 132, le césium 134 et 137, le zirconium, le nobium, le ruthénium, le cérium. L'examen du sang et des urines a montré qu'il n'y avait pas eu d'activation par neutrons, donc pas d'irradiation mesurable par flux de neutrons.

II. PROBLÈMES MÉDICAUX POSÉS PAR LES GRANDS IRRADIÉS

Certains ont discuté la qualité des soins donnés aux accidentés. En réalité, compte tenu des circonstances, ceux-ci semblent avoir été relativement satisfaisants. Certes, l'URSS ne dispose pas, contrairement par exemple à la France et aux USA, d'une infrastructure spécialisée dans le traitement par greffe de moelle, donc d'équipes rompues aux techniques de réanimation hématologique et disposant de chambres stériles. Néanmoins, il existe à Moscou un hôpital spécialisé où les conditions de traitement, sans être parfaites, étaient, d'après les recoupements dont on dispose, honorables. De plus, l'analyse des événements ayant succédé à l'accident met en évidence deux points très positifs: l'existence d'un plan précis sur la conduite à tenir en cas d'accident nucléaire mis au point dans les années 1960 et qui a été mis en œuvre avec rigueur et fermeté; l'unicité du commandement sur le plan sanitaire: un seul responsable, le Dr. A. GUSKOVA de Moscou, a assumé la totalité des décisions.

Observation clinique

Sur les 203 accidentés hospitalisés, 105 ont été considérés comme ayant reçu entre 1 et 2 Gy parmi lesquels aucun n'est décédé, 53 de 2 à 4 Gy et 45 plus de 4 Gy, parmi lesquels 22 entre 6 et 16 Gy. Pour ces derniers, la dose médiane a été estimée à 7,5 Gy et la dose moyenne à 9,2 Gy (estimations basées sur la cytogénétique et l'évolution du nombre de lymphocytes). Les 53 sujets ayant reçu plus de 2 Gy avaient presque tous des brûlures graves et étendues. Au total, au 25 août 1986, 29 de ceux-ci étaient décédés, souvent du fait des brûlures; en plus 2 étaient décédés immédiatement après l'explosion du fait de traumatismes. La dose létale moyenne a été estimée à 6 Gy. Cette évaluation doit être accueillie avec prudence du fait des incertitudes dosimétriques mais, quoique plus élevée que les valeurs précédemment admises, elle n'est pas invraisemblable. Chez les sujets non greffés, le traitement a constitué essentiellement en l'administration d'antibiotiques, des transfusions de plaquettes fraîches et de globules rouges. Le traitement des irradiés a été rendu difficile par l'existence de brûlures étendues, de complications intestinales, pulmonaires et rénales, et la relative imprécision des estimations dosimétriques.

Les 19 malades sélectionnés pour greffe ont été ceux qui étaient considérés comme des irradiés chez qui une action était possible malgré l'importance des doses reçues. Il s'agissait, dans la plupart des cas, de sujets qui étaient à la fois de grands irradiés (dose supérieure à 4 Gy) et de grands brûlés. Sur ceux-ci, seulement 3 malades sont actuellement vivants. Six greffes ont été effectuées par l'équipe de R. GALE (UCLA), les autres par les Russes. Dans 13 cas (dont les 3 survivants), il s'agissait de moelle compatible (6 cas) ou semi-compatible (7 cas) provenant, soit de la fratrie (7 cas), soit de sujets non apparentés (6 cas). Dans 6 cas, il s'agissait de foie foetal (tous décédés, mais c'étaient les brûlés les plus graves). En cas de moelle semi-compatible, la moelle avait été déplétée en cellules T et de la Ciclosporine et des anticorps antilymphocytaires ont été administrés aux receveurs (renseignements communiqués par R. GALE).

Le nombre de rejets a été très élevé. Chez 7 patients, chez qui la greffe aurait pu "prendre", le décès est survenu en raison d'atteintes cutanées et intestinales (entre le 9^e et le 19^e jour après la greffe). Les 6 autres patients, n'ayant pas de lésion cutanée ou intestinale incompatible avec la survie, ont eu une prise temporaire ou incomplète de la greffe, probablement en raison d'une immunosuppression radio-induite incomplète. Des réactions secondaires du greffon contre l'hôte ont été observées dans tous les cas. Dans deux cas, ces réactions ont pu contribuer au décès par insuffisance rénale, atteinte pulmonaire et septicémie à pyocyaniques malgré un nombre normal de neutrophiles. Il s'agissait vraisemblablement de sujets ayant reçu une dose située entre 4 et 8 Gy chez qui l'immunosuppression était limitée et le conflit immunologique sévère. Chez les survivants, la moelle a été rejetée après une prise temporaire de 2 à 3 mois et dans ces cas, il est possible, mais non certain, que la greffe de moelle ait joué un rôle utile.

Enfin, il faut insister sur la valeur pronostique des réactions cutanées, non pas tant l'érythème fugace des premiers jours que l'apparition, de la 1^{re} à la 3^e semaine, d'un érythème intense associé à un œdème et des érosions cutanées. Sur 20 malades chez qui ces lésions ont été observées, elles ont été associées chez 19 malades à des lésions médullaires graves et 17 malades sont morts (les 8 ayant des lésions cutanées étendues sur plus de 60 % de la surface cutanée et 9 des 12 ayant des lésions sur 30 à 60 % de la surface).

Pour autant qu'on puisse estimer la cause des lésions cutanées, il semblerait que chez 6 à 8 sujets les brûlures aient été d'origine thermique et chez environ 40 elles aient été dues à l'irradiation des téguments par les radioéléments émetteurs bêta. Chez ces derniers, il est vraisemblable qu'elles auraient pu être évitées par une décontamination plus précoce et plus complète des téguments. De plus, il est certain que les lésions cutanées ont joué un rôle majeur dans l'évolution fatale.

Conclusion thérapeutique

Il est difficile de tirer des enseignements précis de Tchernobyl sur le plan des soins aux grands irradiés. En effet, la plupart d'entre eux présentaient également des brûlures étendues qui ont considérablement aggravé le pronostic. Ces brûlures étaient, chez beaucoup d'entre eux, dues à la contamination des téguments et le premier enseignement est celui de la nécessité d'une décontamination précoce et soigneuse. Le port de tenues protectrices spéciales semble aussi indispensable. De telles mesures très simples auraient pu éviter de nombreux décès. Les doses reçues par les médecins et infirmiers ayant soigné les blessés, pourtant lourdement contaminés, semblent avoir été limitées, au maximum de l'ordre de 0,05 Gy sur l'ensemble de l'organisme et 0,2 Gy sur les mains. Ces doses ne dépassent pas les limites prescrites par les règles de radioprotection mais montrent, néanmoins, que des précautions sont nécessaires.

Sur le plan thérapeutique, l'expérience de Tchernobyl confirme que, grâce à une association d'antibiotiques et de transfusion de plaquettes, les risques d'infection bactérienne et d'hémorragies peuvent être contrôlés.

Par contre, plusieurs décès ont été dus à des pneumopathies interstitielles diffuses, sans doute d'origine virale (cytomégalovirus ?) favorisées par la baisse des défenses immunologiques, ce qui est en bon accord avec ce qui est observé chez des malades ayant reçu une greffe de moelle. La réactivation de lésions dues aux virus Herpès a constitué un problème grave chez de nombreux blessés. L'alimentation parentérale semble avoir été efficace chez les sujets atteints de syndrome intestinal. Aucune transfusion de globules blancs n'a été effectuée, ce qui est en accord avec l'usage actuel.

On ne peut guère tirer d'enseignement des transplantations de foie fœtal, car il s'agissait de cas désespérés. Les transplantations de moelle ont, peut-être, eu un rôle bénéfique chez 2 des 13 transplantés, mais ceci n'est pas certain. Il est possible qu'elles aient eu un effet défavorable chez d'autres en raison des conflits immunologiques. Au total, il apparaît que la greffe de moelle n'est pas une panacée et ne peut être que l'un des éléments d'une stratégie thérapeutique. Néanmoins, il est possible qu'elle puisse, dans certains cas, jouer un rôle bénéfique, surtout si elle est faite avec la moelle provenant de sujets présentant une compatibilité HLA et chez des sujets ayant reçu des doses supérieures à 8 Gy. Ses indications sont discutables entre 6 et 8 Gy, surtout en situation semi-compatible, tant que l'on ne saura pas mieux maîtriser les réactions du greffon contre l'hôte grâce à l'administration *in vivo* d'anticorps monoclonaux antilymphocytaires. En effet, sur le plan expérimental, les données sont complexes. D'une part, certains résultats obtenus chez la souris indiquent qu'après des doses légèrement inférieures à la dose létale 50, une transplantation allogénique (c'est-à-dire provenant d'un animal de même espèce mais non jumeau) peut avoir un effet défavorable et augmenter la mortalité, sans doute en raison d'un affaiblissement des défenses de l'organisme dû au conflit immunologique ; un tel effet nocif pour des doses du même ordre n'est pas observé chez le chien ou le singe. On ne sait pas ce qu'il en est chez l'homme. Par ailleurs, en détruisant les lymphocytes T cytotoxiques du donneur (déplétion lymphocytaire), on évite ces risques de conflit immunologique mais on augmente la probabilité de rejet. Le rejet est une éventualité catastrophique lors du traitement d'une leucémie par transplantation de moelle, mais certaines données suggèrent qu'une prise temporaire peut être, chez l'animal sain irradié, une éventualité favorable permettant, sous couvert de la protection temporaire procurée par la moelle transplantée, une régénération de la moelle endogène (2). Ce point fait l'objet de recherches mais il faut observer que les résultats obtenus en France chez les accidentés yougoslaves sont en faveur de l'hypothèse d'un effet favorable d'un chimérisme temporaire.

On peut tirer de l'étude des documents au sujet de Tchernobyl quelques conclusions pratiques :

La nécessité d'un typage HLA précoce des accidentés. Ce typage doit être effectué sur des lymphocytes prélevés moins de 3 h après l'irradiation et doit être complet. Même quand les irradiés ont été typés systématiquement à titre préventif, un grand nombre de typages demeure nécessaire au cours des 2 à 3 jours après l'accident pour rechercher les meilleurs donateurs ayant un groupe HLA identique au blessé, d'abord dans la fratrie, puis dans la population sur une liste de volontaires. Une infrastructure permettant un grand nombre de typages HLA est donc indispensable.

Cependant, souvent on ne trouvera pas de donneur idéal, ce qui devrait amener à pratiquer des greffes semi-compatibles avec tous les risques de rejet ou de conflit immunologique que comporte cette méthodologie. Il est donc nécessaire de développer les recherches tendant à améliorer les conditions de greffe semi-compatibles. Etant donné les progrès récents, cet objectif semble aujourd'hui possible à atteindre dans les années à venir.

La thérapeutique par greffe de moelle ne s'adresse qu'aux irradiés ayant reçu sur l'ensemble de l'organisme de 6 à 15 Gy. Ses indications sont donc limitées (20 sur 200 irradiés parmi lesquels 45 avaient reçu plus de 4 Gy à Tchernobyl). De plus, en l'absence de lésions associées rendant urgente la réalisation d'une greffe, la greffe de moelle peut être différée, ce qui a deux intérêts : laisser le temps de rechercher le meilleur donneur et surtout mieux juger en fonction de l'évolution hématologique si la greffe est vraiment utile.

Trois autres problèmes médicaux doivent être considérés :

a) La numération des chromosomes dicentriques a été la base de la dosimétrie biologique chez les accidentés de Tchernobyl et apparaît étroitement corrélée avec l'évolution clinique. Il existe en France une équipe spécialisée dans ce domaine (à Fontenay-aux-Roses). De nouvelles méthodes de dosimétrie biologique sont actuellement à l'étude, elles pourraient utilement compléter le caryotype.

b) Une des lacunes du dispositif de Tchernobyl semble avoir été le délai avec lequel a été administré l'iode stable pour éviter la fixation d'iode radioactif dans la thyroïde. Il faut donc prévoir un dispositif capable d'administrer rapidement de l'iodure de potassium en quantité suffisante à toutes les personnes susceptibles d'être contaminées.

c) Il est concevable que l'administration de radioprotecteurs à certains sauveteurs ait pu être utile. Des recherches complémentaires mériteraient d'être activement poursuivies dans ce domaine.

III. RETOMBÉES RADIOACTIVES ET RISQUES A LONG TERME

Plusieurs rapports d'origines diverses (URSS, AIEA, Grande-Bretagne, Pays-Bas, USA, France, etc.) ont tenté d'établir, à partir de la mesure de la concentration dans l'air et sur le sol de nombreux radionucléides et à l'aide de différents modèles mathématiques, la quantité de radionucléides qui s'était échappée de la centrale et la distribution des doses dues, d'une part à l'irradiation externe, et d'autre part à la contamination interne. Malgré les imprécisions inévitables dans ce type d'évaluations rétrospectives, il en ressort des estimations relativement concordantes. On admet qu'une activité de 2.10^{18} Bq a été relâchée, soit environ 3 à 4 % de l'activité du cœur (environ 100 % des gaz nobles, 10 à 20 % du césium, de l'iode et du tellure et 3 à 6 % des autres radionucléides). Cette émission s'étala sur 10 jours jusqu'à ce que des tonnes de sable, de plomb et d'autres matériaux déversés par hélicoptère aient enseveli le réacteur. Le tableau I compare, du point de vue contamination atmosphérique, Tchernobyl aux accidents précédents.

TABLEAU I

Fuites radioactives dans l'atmosphère (Bq)

	Gaz rares	Iode 131
Windscale (G.B.) (8.10.1957)	$1,3 \cdot 10^{16}$	$7,4 \cdot 10^{14}$
TMI (USA) (28.3.1979)	$4,4 \cdot 10^{17}$	$7,4 \cdot 10^{11}$
Tchernobyl (URSS) (26.4.1986)	$1,7 \cdot 10^{18}$	$2,7 \cdot 10^{17}$

Région immédiatement voisine de Tchernobyl

Les 135 000 personnes qui se trouvaient dans un rayon de 30 km autour de Tchernobyl peuvent être divisées, en ce qui concerne l'irradiation externe, en trois sous-groupes : 45 000 personnes se trouvaient à Pripyat (soit à 3 km de la centrale), la dose moyenne y a été de 33 mGy ; la zone située entre 3 et 15 km (25 000 personnes, dose variant entre 350 et 540 mGy, dose moyenne 450 mGy) ; celle située entre 15 et 30 km (65 000 personnes, dose moyenne 53 mGy). La relative protection de Pripyat est due à la très haute température du foyer d'incendie, ce qui explique que les poussières radioactives se soient élevées très haut dans l'atmosphère avant d'être dispersées par les vents. De plus, il avait été conseillé aux habitants de Pripyat, dès la 6^e heure après l'accident, de ne pas quitter leur domicile (s'ils étaient restés à l'air libre, ils auraient reçu une dose 3 à 5 fois plus élevée). Les habitants de Pripyat ont reçu en quelques jours l'équivalent de l'irradiation qu'ils reçoivent normalement en une quinzaine d'années du fait de l'irradiation de base, et la dose moyenne reçue par les 135 000 évacués (120 mGy) correspond à l'équivalent de 60 années de base ou à 2,5 d'irradiation professionnelle au niveau de la limite maximale admissible.

1. Les doses reçues par la population proche tiennent compte de l'évacuation qui commença dès le dimanche 27 avril après-midi.

2. La pollution sur les deux grandes villes les plus proches (Kiev et Gomel) situées à un peu plus de 100 km, a entraîné une dose totale moyenne d'environ 0,01 Gy (1 rad), soit l'équivalent de la limite de dose pour les femmes enceintes pendant leur grossesse. Aucune mesure particulière n'y a été prise sinon l'arrosage abondant des rues pour éliminer les poussières apportées par le vent.

Sur 135 000 évacués, 116 000 furent logés dans 12 000 maisons construites à cet effet ; les 20 000 autres dispersés dans diverses localités éloignées. Ajoutons que 250 000 enfants de Kiev et 60 000 de Gomel ont été déplacés pendant l'été.

Deux mille femmes étaient enceintes parmi les évacués. Les données préliminaires indiquent que les grossesses se sont déroulées normalement et ne relèvent aucune augmentation de la fréquence des fausses-couches ou des anomalies congénitales.

Effet cancérigène

Sur la base de la CIPR de 1,2 cancer pour 100 homme-Sv, le rapport russe estime que cette irradiation pourrait entraîner 272 cas au cours des 70 prochaines années chez les irradiés au cours de leur existence. Un récent rapport américain aboutit à une estimation voisine d'un nombre de cas supplémentaires de 470 cas (en tenant compte de la distribution des doses et des relations dose-effet pour les diverses catégories de cancers et en utilisant pour certains cancers le modèle du risque relatif au lieu du modèle du risque absolu), mais le rapport discute l'incertitude de cette approximation et indique que ce nombre pourrait être beaucoup plus faible. Pour situer ce chiffre, il faut le ramener au nombre de cancers attendus dans cette population en l'absence de l'accident de Tchernobyl, soit 17 000 au cours des 70 ans à venir. L'augmentation serait donc d'environ 1,6 %. De plus, il faut souligner que ces estimations sont faites dans le cadre d'hypothèses délibérément pessimistes et peu réalistes. Le modèle de la CIPR admet l'existence d'une relation linéaire entre la dose et la probabilité d'induction d'un cancer. Cette hypothèse, utile quand on calcule les limites de dose, donc quand il faut être prudent, n'est pas une hypothèse réaliste pour prédire un effet cancérigène. En effet, la relation dose-effet est plus vraisemblablement, pour la plupart des cancers humains, de type linéaire quadratique ou quadratique. Toute une série de données, notamment celles provenant des malades irradiés, suggère fortement que, pour de faibles doses, de l'ordre de 0,1 Gy, l'effet réel est très notablement inférieur (sans doute moins de 1/3). Les calculs du rapport américain prennent en compte la possibilité d'une relation linéaire quadratique mais le choix d'un modèle de risque relatif, qui est discutable sur le plan épidémiologique et qui est en contradiction avec les observations faites sur les malades irradiés, n'est légitime que si l'on désire estimer la limite supérieure du risque et non le risque probable. De plus, comme le souligne d'ailleurs le rapport américain, ces deux estimations sont faites sur la base de données provenant d'irradiations effectuées en un temps très court, c'est-à-dire avec un débit de dose très élevé, ce qui, par exemple, a été le cas pour les survivants d'Hiroshima et Nagasaki. Or, pour les irradiés de Tchernobyl, la dose a été délivrée en plusieurs jours avec des débits de dose très faibles, de l'ordre de quelques mGy/h. Pour de telles irradiations effectuées avec des rayons X, β ou γ , l'expérimentation animale et les quelques rares données humaines disponibles suggèrent que l'effet cancérigène est, à dose égale, 2 à 10 fois plus faible qu'après irradiation à débit de dose élevé. Il est donc vraisemblable que le nombre de cancers excédentaires sera situé entre 30 et 90, soit inférieur à 1 % du nombre de cancers attendus dans cette population. Un excès aussi faible est extrêmement difficile à mettre en évidence. Au maximum, il correspondrait à ce qui serait provoqué, par exemple, par une augmentation de 3 % de la consommation tabagique (nombre moyen de cigarettes consommées par fumeur passant de 15 cigarettes à 15,5 cigarettes/jour) ou de 6 % de la consommation d'alcool, en admettant, ce qui est une approximation réaliste, que 30 % des cancers sont dus au tabac et 15 % à l'alcool.

Il est donc vraisemblable que les enquêtes sur les irradiés de Tchernobyl ne mettront en évidence aucun accroissement statistiquement significatif. Il semble, néanmoins, indispensable de les effectuer, car c'est une occasion unique d'avoir des données sur les effets des faibles doses.

En ce qui concerne les maladies génétiques, rappelons qu'il n'en a pas été observé chez les descendants des irradiés d'Hiroshima et Nagasaki; les prédictions faites à partir de l'expérimentation animale montrent qu'elles seraient si peu fréquentes qu'elles seraient indétectables.

URSS d'Europe au-delà de cette zone proche (75 millions d'habitants)

Pour ces sujets, la dose individuelle moyenne additionnelle a été estimée à 4 mGy (ce qui est à peine supérieur à la dose naturelle reçue en un an en France dans une région granitique qui est de 3 mGy). La "dose totale intégrée" dans la population est sur 50 ans de 29.10^4 h.Gy, sur lesquels environ 8.10^4 sont dus à l'irradiation externe en 1986 et 21.10^4 h.Gy dus à l'irradiation externe au cours des 50 ans à venir. Il s'y ajoute une dose de 21.10^4 h.Gy due à la contamination interne au cours des 50 ans à venir. Sur la base d'une extrapolation linéaire, ces chiffres correspondraient à, respectivement, 4 750 et 3 800 cancers supplémentaires au cours des 70 prochaines années. L'estimation du rapport américain est de 6 400 cancers supplémentaires dus à l'irradiation externe, le chiffre réel pouvant varier entre zéro et cette limite. Ces chiffres sont à comparer aux 9,5 millions de cancers "spontanés", soit moins de 1 pour 1 000. De plus, il faut rappeler que ces chiffres sont basés, comme nous l'avons vu, sur des hypothèses qui, dans ce cas, sont encore plus pessimistes et irréalistes que pour la population avoisinant Tchernobyl, étant donné le très faible débit de dose. Il est donc vraisemblable que le chiffre réel sera plus proche de zéro que de 10 000, mais on ne le saura jamais.

En conséquence, l'augmentation de la fréquence de cancers, si elle existe, sera, bien évidemment, beaucoup trop faible pour être détectable. Rappelons, par exemple, qu'elle correspondrait à une variation de 3 p. mille de la consommation tabagique (consommation moyenne par fumeur passant de 15 à 15,05 cigarettes par jour).

Pollution sur l'Europe (tableau II)

Au moment de l'accident, un régime anticyclonique régnait sur l'Ukraine. Un léger vent du S.E. entraîna le panache radioactif à une altitude initiale de 1 200 m sous forme de nuage vers la Pologne, la Finlande et la Suède. C'est d'ailleurs en Suède que fut enregistrée la première élévation anormale de la radioactivité de l'air. Une étude immédiate mit les centrales suédoises hors de cause et localisa l'accident en URSS. Le vent tourna alors au N.E., le nuage se dirigea vers le Danemark, l'Allemagne, la Suisse, le S.E. de la France. Il y rencontra les vents d'Ouest qui le repoussèrent vers l'Est (Yougoslavie, Bulgarie, Turquie). Le nuage accomplit ainsi un véritable tour de l'Europe en une dizaine de jours, n'épargnant que l'Ouest (Portugal, Espagne, Angleterre) et n'affectant que légèrement la France, au S.E. surtout. Ce faisant, le nuage perdit une grande partie de son activité, par dilution et par la décroissance radioactive de ses éléments majoritaires à période courte. La radioactivité du sol due aux retombées fut plus élevée dans les régions où il avait plu pendant le passage du nuage radioactif.

L'augmentation du taux de radioactivité engendra, dans les pays de la Communauté européenne, des réactions très vives auxquelles les différents pays réagirent de façon désordonnée. Devant l'émotion suscitée et sous l'influence de considérations qui n'étaient pas que scientifiques, la CEE édicta à la hâte le 30 mai des normes dénuées de bases rationnelles, qui étaient de 100 à 1 000 fois plus restrictives que les normes précédentes.

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) réunit, dès le 6 mai, un groupe international dont les recommandations furent diffusées le 13 mai. Voici un résumé des principales d'entre elles (lesquelles sont d'autant plus valables pour la France que la pollution radioactive y fut inférieure à ce qu'elle fut dans les autres pays d'Europe):

- en dehors de l'URSS, les doses avaient été trop basses pour provoquer un accident immédiat;
- les pollutions relevées en Espagne, France, Islande et Portugal n'étaient pas considérées comme significatives; même dans les autres pays européens (sauf l'URSS), elles étaient trop faibles pour justifier certaines décisions hâtives, notamment: ne pas boire les eaux de surface habituellement qualifiées de potables, déconseiller le lait maternel aux bébés, limiter les séjours à l'extérieur des bâtiments, prendre des comprimés d'iodure de potassium, interdire ou restreindre la consommation d'aliments (légumes verts, viandes...) venant de Pologne, d'Allemagne, etc.

Les recommandations de l'OMS ont eu un effet bénéfique. Dès le 24 mai, l'Italie supprimait toutes les contre-mesures prises brutalement et l'Autriche supprimait les contrôles à l'importation.

TABLEAU II

Doses totales reçues (approximatives)

	en mGy	relatives
France	0,05	1
Europe centrale	0,5	10
Russie d'Europe	5	100
à 30 km	50	1 000
à 5 km	500	10 000
0	5 000	100 000

Diverses évaluations de la dose collective en Europe aboutissent à des chiffres de l'ordre de $1,5 \cdot 10^5$ h.Gy à $2 \cdot 10^5$ h.Gy pendant l'année ayant suivi l'accident pour les 400 millions d'Européens (URSS exclue), ce qui correspond à une dose équivalente moyenne individuelle de l'ordre de 0,3 à 0,5 mGy. Ces chiffres moyens recouvrent des variations très grandes, allant, selon les pays, de 0,04 à 1,1 mGy. Rappelons qu'une dose de 0,5 mGy est très inférieure aux variations de l'irradiation naturelle de base qui varie, par exemple en France selon les régions, entre 1 et 3 mGy. En tenant compte

de l'irradiation causée par les radioéléments à longue période, en particulier le césium 137, la dose totale engagée au cours des 50 ans à venir pourrait atteindre 9.10^5 h.Gy, soit une dose individuelle moyenne de 2,2 mGy qu'il faut comparer à la dose due à l'irradiation naturelle pendant cette période, soit 50 à 150 mGy selon les régions d'Europe.

Il est évident que pour une irradiation aussi faible avec un débit de dose aussi bas, l'évaluation du nombre de décès excédentaires dus aux cancers provoqués n'est qu'un exercice de style dont la signification est très limitée. L'estimation américaine d'un chiffre de cancers induits variant entre zéro et 2,3 cancers par 10^2 h.Gy n'a qu'une valeur indicative; elle encadre celle de la CIPR (1,2 cancer par 10^2 h.Gy), mais il faut rappeler que ces estimations sont faites à partir d'irradiations à doses élevées ($> 0,5$ Gy) et à fort débit, c'est-à-dire dans des conditions où l'efficacité de l'effet cancérigène est beaucoup plus élevée. Quoi qu'il en soit, on arriverait ainsi à un chiffre variant entre 0 et 4 500 cancers induits en Europe au cours des 50 prochaines années, chiffre qu'il faut rapprocher de celui de 68 millions de décès par cancer que l'on peut escompter pendant cette même période. Une telle variation de 6 pour 100 000 correspondrait à une variation de la consommation tabagique de 0,2 pour mille, soit une variation entre 15 cigarettes/jour et 15,003 cigarettes/jour, soit entre 5 475 et 5 476 cigarettes/an.

En France, l'activité maximale de l'air n'a jamais dépassé 10 à 20 Bq/m³, et les retombées au sol ont toujours été extrêmement faibles. A aucun moment, la contamination du lait ou des légumes verts n'a justifié des mesures d'interdiction ou de restriction de consommation. Par exemple, la radioactivité du lait a avoisiné en certaines régions 600 Bq/l pendant quelques jours, ce qui est très inférieur aux concentrations posant problème d'autant que cette élévation n'a duré que quelques jours. Si, dans quelques régions et de façon temporaire, la consommation des légumes, salades ou champignons, a avoisiné 1 000 ou 2 000 Bq/kg, il aurait fallu se nourrir exclusivement de ces aliments contaminés pendant plusieurs mois pour atteindre les limites préconisées par la CIPR et les recommandations des Communautés européennes.

Dans un autre domaine, des informations intéressantes ont été obtenues en Pologne sur les conséquences de l'administration systématique d'iode stable à plus de 10 millions de personnes. Quelques dizaines de cas d'intolérance et d'accidents allergiques ont été observés, mais aucun d'entre eux n'a été sérieux ou durable.

IV. ASPECTS PSYCHOSOCIOLOGIQUES ET RÉACTIONS ADMINISTRATIVES

Un des aspects les plus frappants de l'accident de Tchernobyl est la disproportion entre les faits et les réactions des médias et du public. Je me trouvais sur la côte ouest du Canada au moment de l'accident. Dans les heures qui suivirent, des "experts" présentés comme "bien informés" vinrent annoncer que la catastrophe avait fait au minimum 2 000 morts. Dans la même émission, d'autres experts plus prudents dirent que l'on ne pouvait rien affirmer et qu'il fallait attendre pour porter un jugement, mais, en fait,

dans tous les commentaires ultérieurs seul le chiffre de 2 000 morts fut retenu, ce qui montre une fois de plus que lorsque l'on interroge successivement plusieurs personnes, seul est mémorisé le message le plus sensationnel et le plus dramatique. Dans tous les pays occidentaux, la presse, la télévision allaient, pendant plusieurs semaines, consacrer à Tchernobyl l'essentiel de leur espace ou de leur temps. La rupture d'un barrage à Ceylan qui avait fait la même semaine environ 2 000 morts bien réels passa totalement inaperçue et n'eut droit qu'à quelques lignes dans les journaux.

L'émotion, la recherche du sensationnel ainsi que la dramatisation des nouvelles étaient telles que les informations les plus rassurantes donnant exactement les faits, à savoir 2 morts et quelques dizaines de blessés graves furent occultées ou accueillies avec scepticisme. Très vite, l'essentiel de l'attention se focalisa sur la pollution en Europe. Il est remarquable, d'ailleurs, que les mouvements écologiques antinucléaires, notamment ceux de RFA dont on connaît la violence et la pugnacité, d'ordinaire si prompts à protester et à accuser les Etats responsables, n'émirent aucune critique contre l'URSS mais ne se réveillèrent que pour provoquer une agitation autour des dangers un peu mythiques de la pollution et pour réclamer l'arrêt de toute industrie électronucléaire, non pas à l'Est mais en Occident dont les centrales n'avaient, cependant, aucune responsabilité et avaient montré lors de l'accident de Three Mile Island (TMI) le fonctionnement satisfaisant des enceintes de confinement. Un livre récent vient de souligner ce phénomène et de l'analyser (Y. LECERF, E. PARKER. L'affaire Tchernobyl. Paris : PUF, 1987).

Quoi qu'il en soit, le passage du nuage radioactif suscita dans tous les pays des réactions émotives intenses dont les médias se firent les caisses de résonance. Sous la pression des opinions publiques, des décisions divergentes furent prises dans les différents pays européens et cette incohérence contribua à accroître l'inquiétude et à la généraliser. La France et la Suisse restèrent d'abord à l'abri de cette agitation, mais il était difficile en Alsace de rester calme alors que sur l'autre rive du Rhin une véritable psychose s'était emparée des esprits et que les administrations édictaient des consignes ahurissantes qui n'auraient été scientifiquement justifiées que si la radioactivité avait été cent fois plus élevée.

Dans cette atmosphère, l'opinion française s'interrogea et interpella brutalement le gouvernement. On assista à un certain flottement des administrations un peu perdues entre curie et becquerel, rad et sievert. Certains services prirent des initiatives malheureuses, croyant bien faire et pour tenter de rassurer l'opinion publique. Ceci ne fit qu'attiser les inquiétudes. On accusa le gouvernement de rétention des nouvelles et il faut reconnaître que l'information ne s'effectua pas dans d'excellentes conditions. Il fallut trouver un bouc émissaire ; à la suite d'un débat où il fut brutalement assailli, les médias s'en prirent au Prof. PELLERIN, directeur du SCPRI, alors que l'information du public n'entraînait pas dans le cadre de ses attributions.

Avec le temps, bien loin de s'amoinrir, l'impact qu'a eu Tchernobyl sur l'opinion publique s'approfondit. Il n'est que se rappeler la publicité qui a été faite dans les médias autour d'un prétendu nombre anormal d'enfants mongoliens dans une clinique d'accouchement de Berlin alors qu'au même moment un rapport sur 300 naissances survenues chez les femmes de

Pripyat, signalant l'absence d'anomalies chez ces nouveau-nés, passait totalement inaperçu. Plus symptomatique encore, les émissions à sensation rapportant l'existence de "thym radioactif" dans la vallée du Rhône ou de fausses-couches chez les chèvres corses, montrent la fragilité d'une opinion publique déstabilisée. Dans l'inconscient collectif, l'accident de Tchernobyl est devenu synonyme de grande catastrophe et une enquête d'opinion publique, effectuée au cours de l'été 1987 en Europe, met la radioactivité comme deuxième cause de cancer chez l'homme, immédiatement derrière le tabac, alors que dans les faits moins de 1 % des cancers paraissent dus aux rayonnements ionisants d'origine naturelle ou humaine. Une autre enquête d'opinion publique révèle que, dans le souvenir des personnes interrogées, c'est le chiffre de 2 000 morts par accident qui a été généralement mémorisé et que très peu situent le nombre de morts immédiates aux environs de 30.

Que conclure ? L'affolement qu'a suscité Tchernobyl montre la vulnérabilité de l'opinion publique et des médias vis-à-vis de tout ce qui touche le nucléaire. Le contraste entre la réalité des faits et l'angoisse diffusée par certains médias au moment de l'accident qui, plusieurs mois plus tard, continuent à parler avec grandiloquence à la télévision de champignons, de gibier ou de persil, soi-disant impropres à la consommation, montre que l'information passe mal et souligne la nécessité d'une formation des journalistes. Il faut reconnaître que, même pour un public instruit, il est difficile de comprendre pourquoi 350 Bq/l ne présentent aucun risque et 600 en présentent un. Tout un effort d'éducation reste à faire qui doit être entrepris dans les écoles et les universités. Le rôle des leaders d'opinion (médecins, enseignants) est fondamental et il est indispensable de mettre à leur disposition une documentation objective et scientifique.

Sur le plan administratif, l'effort est plus impératif encore. Il faudrait que tous les responsables aient en main des documents simples, aisés à comprendre et à consulter, dépourvus d'ambiguïté. Sur le plan pratique, il paraît indispensable qu'un bilan soit effectué à l'échelle de l'Europe sur les actions qui ont été entreprises dans divers pays à la suite de Tchernobyl. L'incohérence des décisions administratives prises dans les semaines ayant suivi l'accident dans les différents états européens et dans les états fédéraux selon les régions a provoqué une confusion regrettable. Ces décisions n'avaient généralement aucune base scientifique ou rationnelle; il s'agissait souvent de réactions émotives prises dans la hâte ou l'improvisation, ou suscitées par des arrière-pensées commerciales (telles qu'arrêter l'importation des denrées agricoles provenant d'autres pays).

Cet état de chose est profondément dommageable pour la crédibilité de la science et de la technologie. Il faut tout mettre en œuvre pour éviter la répétition de pareilles aberrations. Il suffit de rappeler, pour illustrer ces disparités, que le taux de radioactivité à partir duquel une action est envisagée varie entre 10 Bq/l de lait au Canada et 5 600 Bq/l aux USA, la CEE se situant à 2 000 Bq/l. Des disparités équivalentes s'observent entre les différents Etats ou lands dans les Etats fédéraux (USA, Allemagne de l'Ouest). Il serait très utile d'arriver, au moins en Europe, à des normes communes. Celles-ci devraient prendre pour base les recommandations de la CIPR qui

sont fort prudentes. Comme vient de le rappeler un rapport américain, des réglementations trop strictes, disproportionnées par rapport au risque réel, sont plus néfastes qu'utiles. Des mesures inutiles ou excessives ont pour seul effet d'accroître l'anxiété du public sans apporter de bénéfice réel.

L'application de plans d'urgence requiert de la discipline de la part des gouvernements et des responsables administratifs. La valeur de ces plans est grandement diminuée à la fois d'un point de vue psychologique et administratif si les mesures sont mises en œuvre pour des niveaux d'exposition considérablement inférieurs à ceux pour lesquels ils avaient été programmés sur la base des considérations sanitaires.

RÉFÉRENCES

- [1] L'accident de Tchernobyl. Conséquences et enseignements. Rapport à Monsieur le ministre de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du Tourisme, du Comité de l'Académie des sciences chargé d'examiner les divers aspects et conséquences de l'accident de Tchernobyl. *C.R. Acad. Sci., La vie des Sciences*, 1987, 4, 211-250.
- [2] GALE R.P. The role of bone marrow transplantation following nuclear accidents. *Bone Marrow Transplantation*, 1987, 2, 1-6.
- [3] LINNEMANN R.E. Soviet medical response to the Chernobyl nuclear accident. *J. Am. Med. Assoc. (JAMA)*, 1987, 258, 637-643.
- [4] SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RADIOPROTECTION et SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE BIOPHYSIQUE ET MÉDECINE NUCLÉAIRE. Conséquences médicales de l'accident nucléaire de Tchernobyl, Créteil, 14-15 mai 1987. Fontenay-aux-Roses: SFRP, 1987.