

Conséquences radiologiques de l'accident de Tchernobyl en Union Soviétique et mesures prises pour en atténuer l'impact

L'analyse des données confirme l'efficacité d'action à grande échelle pour limiter les effets de l'accident

par L.A. Ilyin et O.A. Pavlovskij

A la suite de l'accident qui s'est produit à 1 h23, le 26 avril 1986, à la tranche 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl, des quantités substantielles de matières radioactives accumulées dans le réacteur en marche ont été rejetées hors de la centrale. Du fait des mouvements des masses d'air, le nuage qui s'était formé au moment de l'accident a laissé une traînée radioactive au-dessus de la zone orientée vers l'ouest et le nord. Des rejets intenses de gaz et d'aérosols radioactifs se sont poursuivis pendant les dix jours suivants, provoquant la contamination des sols sur des distances considérables et dans plusieurs directions. Le 6 mai 1986, on calculait qu'au total le rejet de substances radioactives (non compris les gaz rares radioactifs) était de l'ordre de 1,9 EBq (exabecquerel, ou 10^{18} Bq), soit 3,5% du total des radionucléides présents dans le réacteur au moment de l'accident. Les rejets des nucléides les plus importants du point de vue biomédical, tels que le strontium 90, l'iode 131 et le césium 137, s'élevaient respectivement à 8,1, 270 et 37 PBq (petabecquerel, ou 10^{15} Bq).

Evacuation de la population

Dans les premières heures qui ont suivi l'accident, le nuage a contourné la ville de Pripet. Plus tard, lorsque le rejet hors du réacteur endommagé avait nettement perdu de l'altitude, sous l'effet des changements de direction du vent dans la couche inférieure de l'atmosphère, le panache radioactif a, pendant un certain temps, recouvert l'agglomération et l'a contaminée progressivement. Jusqu'à 21 heures le 26 avril 1986, le débit de dose de rayonnement gamma mesuré à 1 m du sol se situait dans certaines rues de la ville entre 14 et 140 milliröntgen par heure (mR/h). Pendant la nuit du 26 au 27 avril, la situation radiologique a commencé à s'aggraver. Le 27 avril à 7 heures, le débit de dose de

rayonnement gamma avait atteint, dans le quartier le plus proche de la centrale (rue Kurchatov), 180-600 mR/h, tandis que dans d'autres rues il variait entre 180 et 300 mR/h. Du fait que l'on craignait que l'irradiation externe de la population ne dépasse, dans les premiers jours suivant l'accident, la dose qui, en Union Soviétique, détermine l'introduction de mesures d'urgence de protection de la population, il a été décidé d'évacuer les habitants de Pripet et de quelques centres voisins*. L'évacuation a commencé à 14 heures et s'est terminée à 17 heures le 27 avril. Le débit de dose de rayonnement gamma dans la ville atteignait alors 0,36-0,54 R/h, et 0,72-1,0 R/h dans le quartier de la rue Kurchatov. Le 6 mai, l'intensité de rayonnement dans la ville était trois fois moindre.

L'évaluation fondée sur la surveillance radiologique en dehors du site et les valeurs directement fournies par les dosimètres personnels utilisés par des membres des services de sûreté radiologique et des équipes d'urgence ont montré que les doses maximales auxquelles avaient été exposés des groupes critiques de la population de la ville pourraient avoir atteint 0,1 gray (Gy) pour l'irradiation externe et 1 Gy environ pour le rayonnement bêta au niveau de la peau.

Il convient de souligner que la grande majorité de la population de Pripet, en particulier les enfants, a été exposée à des doses bien inférieures aux valeurs estimatives maximales. Dès le début de l'accident, il a été conseillé à la population de passer le moins de temps possible dehors et de ne pas ouvrir les fenêtres. Le 26 avril, toutes les activités de plein air ont été interdites dans les centres pour enfants où des équipes médicales ont en outre distribué des doses prophylactiques d'iode. En conséquence, les gens qui sont restés chez eux la plus grande partie du temps les 26 et 27 avril ont été exposés à une dose de rayonnement gamma deux à cinq fois inférieure aux doses enregistrées à l'extérieur. Compte tenu de ce qui précède, on peut estimer les doses proba-

MM. Ilyin et Pavlovskij sont professeurs à l'Institut de biophysique du Ministère de la santé publique de Moscou (URSS). Le présent article se fonde sur le mémoire qu'ils ont présenté à la Conférence internationale de l'AIEA sur la performance et la sûreté des centrales nucléaires, qui s'est réunie à Vienne du 28 septembre au 2 octobre 1987. Les comptes rendus de la conférence sont en vente à l'AIEA.

* Voir «L'adoption de mesures d'urgence pour protéger la population en cas de rejets accidentels de matières radioactives dans l'environnement», par I.K. Dibobes, L.A. Ilyin, V.M. Kozlov et al., dans *La gestion des accidents dus aux rayonnements*, comptes rendus du colloque international de l'AIEA, Vienne (1969), p. 547 (en russe).



Le réacteur endommagé de Tchernobyl a été encapsulé dans une structure appelée «enveloppe» (généralement connue sous le nom de «sarcophage») mise en place pour retenir les matières radioactives et empêcher la contamination de l'environnement.

bles d'exposition de la majorité de la population de Pripet à 15-50 mGy pour le rayonnement gamma et à 0,1-0,2 Gy pour le rayonnement bêta au niveau de la peau.

Par la suite, des examens du taux d'aberration chromosomique dans les lymphocytes du sang périphérique, effectués par des spécialistes de l'Institut de génétique de l'Académie des sciences de l'URSS, ont confirmé ces estimations. Ces études ont indiqué que, même dans le groupe de citoyens le plus critique (personnes qui avaient passé beaucoup de temps dehors après l'accident et avaient beaucoup circulé dans la ville — médecins, membres de la milice, agents municipaux, etc.), la dose absorbée moyenne calculée selon cette méthode biologique était de $0,13 \pm 0,03$ Gy. On a également observé un degré élevé de convergence entre les méthodes de dosimétrie «biologiques» utilisées et les méthodes «physiques» traditionnelles. En comparant ces doses deux à deux pour 93 personnes qui avaient participé à la lutte contre les effets de l'accident, on a obtenu un rapport des doses moyennes de 0,98, avec un écart type de 0,51.

Compte tenu de la durée du rejet de gaz et d'aérosols radioactifs hors du réacteur endommagé et sur la base des données disponibles et des calculs spécifiquement effectués pour toute la zone contaminée, il a été décidé de procéder à une nouvelle évacuation de la population dans la zone de l'accident*, ce qui a porté le nombre

total des personnes évacuées à 115 000. Cinquante zones d'habitation et 13 000 maisons d'habitation rurales ont été construites à l'intention des personnes évacuées, et 8000 appartements ont été mis à leur disposition à Kiev et Tchernigov.

C'est à ce stade essentiel des mesures visant à protéger la population qu'interviennent les critères qui constituent la norme officielle en Union soviétique* (voir tableau correspondant). Lorsque ces critères ont été définis, il a été reconnu que les mesures les plus urgentes étaient celles qui étaient nécessaires pour protéger la population des dangers qui la menacent au moment du passage du nuage radioactif, à savoir l'inhalation et l'exposition externe. Les mesures visant à empêcher la contamination du lait et sa consommation sont moins urgentes. La valeur des différentes mesures de protection de la population est inégale et leurs effets psychologiques peuvent être plus ou moins néfastes; de ce point de vue, l'action la plus délicate est l'évacuation de la population. Il s'ensuit que l'évaluation des risques justifiant l'introduction des mesures précitées ou d'autres mesures doit tenir compte non seulement du risque biologique afférent à l'irradiation, mais également des facteurs suivants: ampleur du risque; urgence relative des mesures de protection; degré de certitude dans l'évaluation de l'évolution de la situation radiologique; possibilité réelle d'appliquer à temps la mesure envisagée; effet psychologique négatif et risque pour la

* «Evaluation des conséquences radiologiques des accidents dans les centrales nucléaires et problèmes de sûreté publique» par L.A. Ilyin, O.A. Pavlovskij et I.P. Sayapin dans *Sûreté et protection radiologiques dans les centrales nucléaires*, huitième édition (Yu.A. Egorov, Ed.), Energoatomizdat, Moscou (1984) 146 (en russe).

* «Critères déterminant la décision de prendre des mesures d'urgence pour protéger la population en cas d'accident dans une centrale nucléaire» par Yu.O. Konstantinov dans *Sûreté et protection radiologiques dans les centrales nucléaires*, neuvième édition (Yu.A. Egorov, Ed.), Energoatomizdat, Moscou (1985) (en russe).

Critères soviétiques de décision concernant les mesures de protection des populations en cas d'accident d'un réacteur

Nature de l'exposition	Niveau d'exposition	
	A	B
Rayonnement gamma externe (rad)	25	75
Exposition de la thyroïde due à l'incorporation d'iode radioactif (rad)	25-30	250
Concentration intégrée d'iode 131 dans l'air (microcuries par jour et par litre)		
Enfants	40	400
Adultes	70	700
Incorporation totale d'iode 131 par les aliments (microcuries)	1,5	15
Contamination maximale par l'iode 131 du lait frais (microcuries par litre), ou des rations alimentaires quotidiennes (microcuries par jour)	0,1	1
Densité initiale des retombées d'iode 131 sur les pâturages (microcuries par mètre carré)	0,7	7

Si l'exposition ou la contamination est inférieure au niveau A, il n'y a pas lieu de prendre des mesures d'urgence qui perturbent temporairement la vie quotidienne normale de la population. Si l'exposition ou la contamination est supérieure au niveau A, mais inférieure au niveau B, il est recommandé de prendre les décisions en fonction de la situation et des conditions locales.

Si l'exposition ou la contamination atteignent ou dépassent le niveau B, il est recommandé de prendre des mesures d'urgence afin d'assurer la protection radiologique de la population: confinement immédiat à l'intérieur des bâtiments; limitation du temps passé dehors; organisation rapide de l'évacuation en fonction de la situation; distribution d'iode à titre prophylactique; l'utilisation de produits contaminés dans la préparation des aliments devrait être interdite ou limitée; les animaux laitiers devraient être mis en pâture dans des prairies non contaminées ou nourris au moyen de fourrages non contaminés.

santé publique pouvant résulter de l'application d'une mesure donnée. Compte tenu des facteurs susmentionnés, on a jugé bon, dans le cas d'une mesure telle que l'évacuation de la population pour éviter l'exposition externe aux rayonnements gamma, de retenir comme principal critère des doses proches du seuil à partir duquel l'exposition pourrait avoir un effet sur l'organisme humain. En ce qui concerne l'exposition interne de la thyroïde due à l'inhalation d'isotopes de l'iode, il a été décidé de retenir comme limite supérieure la dose susceptible, selon les données cliniques et expérimentales, d'avoir sur l'individu des effets nocifs graves.

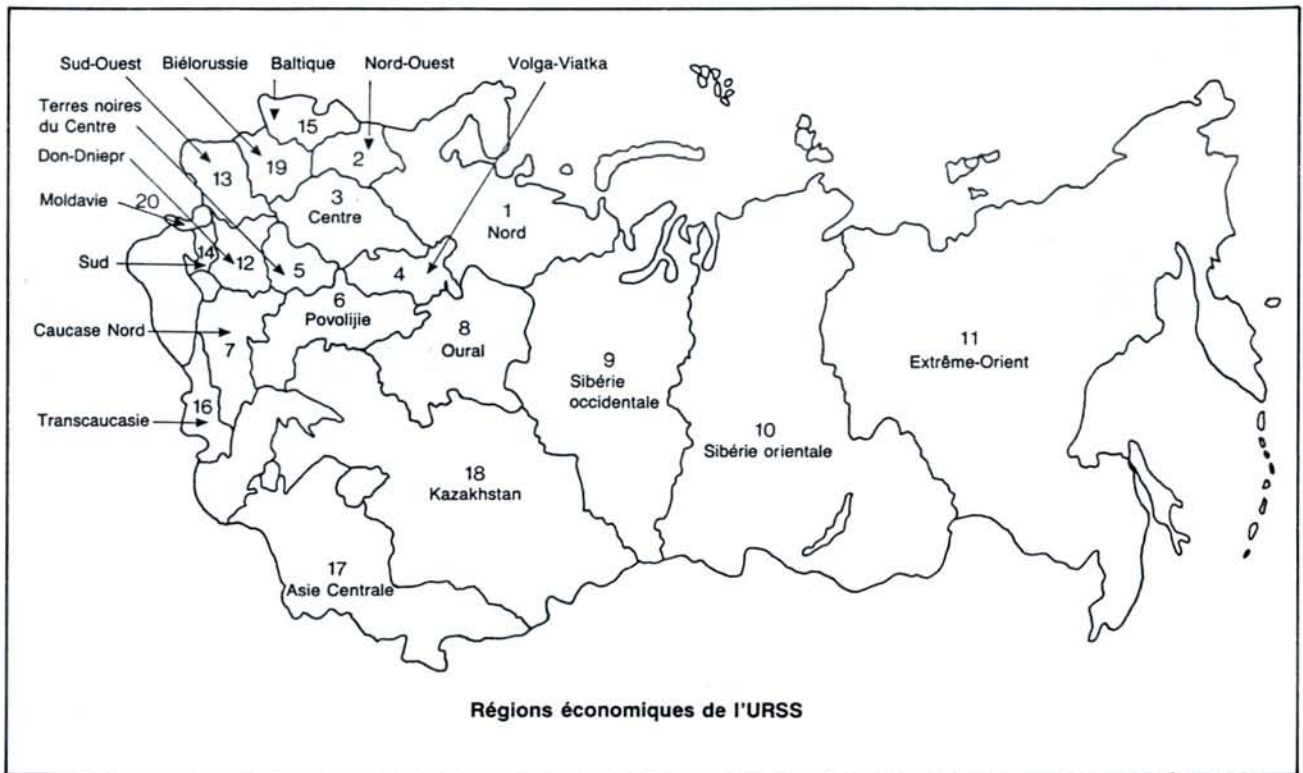
Sur la base de l'expérience acquise aux niveaux national et international en matière d'évaluation des effets des rayonnements sur l'organisme humain, on a fixé à 0,25 Gy pour l'exposition externe de tout l'organisme et à 0,25-0,3 Gy pour l'exposition interne de la thyroïde le niveau inférieur d'intervention (niveau A du tableau) à partir duquel peuvent être déclenchées les mesures d'urgence perturbant temporairement la vie quotidienne de la population. Le niveau supérieur (niveau B), qui correspond à une situation où ces mesures doivent obligatoirement être prises, est de 0,75 Gy pour l'exposition de tout l'organisme et de 2,5 Gy pour l'exposition de la thyroïde. Il convient de noter que ces doses sont assez proches de la fourchette des niveaux d'intervention (0,05-0,5 Gy pour

l'exposition de tout l'organisme et 0,5-5 Gy pour l'exposition de la thyroïde) à partir desquels la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'AIEA recommandent que soit prise la décision d'évacuer rapidement la population après un accident*. Cependant, la décision d'évacuer les habitants de Pripet a été prise, non pas au moment où l'exposition a atteint ou dépassé le niveau A, mais lorsque les prévisions radiologiques ont indiqué que cette éventualité ne pouvait être exclue. Le même principe a commandé l'évacuation d'autres régions contaminées, mais comme la situation radiologique dans la zone de l'accident changeait constamment, il n'a pas été possible de préserver tous les habitants de l'absorption d'une dose dépassant le niveau A. Dans certains centres de population situés dans les zones les plus contaminées par la trace radioactive (villages de Toltstyy-Les, Kopachi et quelques autres), l'exposition externe de la population s'est située entre 0,3 et 0,4 Gy, mais nulle part elle n'a atteint les valeurs correspondant au niveau B mentionné ci-dessus. Or, même si l'exposition externe de l'organisme humain atteint ces niveaux, aucun effet somatique aigu immédiat n'est à craindre.

La mesure des isotopes de l'iode présents dans la thyroïde des habitants de Pripet évacués vers des centres situés dans la région voisine de Polesk a montré que, dans 97% des cas, la dose était inférieure à 0,3 Gy, qu'elle se situait entre 0,3 et 1 Gy dans 2% des cas, et entre 1,1 et 1,3 Gy chez 1% des personnes examinées. La prophylaxie par l'iode a joué ici un rôle utile, de même que les restrictions imposées à la consommation de lait provenant de vaches d'élevage privé. Ces données sont confirmées par les doses d'iode dans la thyroïde trouvées chez les habitants de Pripet évacués vers la ville de Belaya Tserkov, où la consommation de produits alimentaires contaminés par de l'iode 131 était soumise à de rigoureuses restrictions. Selon les résultats des mesures effectuées le 7 mai 1986, les doses d'iode trouvées dans la thyroïde allaient de 0,015 à 0,25 Gy chez la plupart des personnes examinées, et n'atteignaient 0,17-0,24 MBq (megabecquerel, soit 10^6) que chez quelques enfants âgés de trois à huit ans, la dose absorbée par la thyroïde étant alors de 1,5-2,2 Gy. Cette distribution des expositions de la thyroïde par inhalation est à peu près similaire dans la population d'autres centres situés dans la zone de l'accident et qui ont été évacués.

Par mesure de précaution, tous les enfants de la zone évacuée (dont le nombre s'élevait à plus de 27 000) ont été envoyés dans des établissements de santé de l'Etat pendant l'été 1986; cette opération a été organisée au niveau central. Les enfants chez lesquels l'exposition de la thyroïde avant la décorporation totale des isotopes de l'iode avait été estimée à plus de 0,3 Gy ont fait l'objet d'un contrôle médical constant. (De l'iode a été

* Voir *Niveaux d'intervention dérivés pour la limitation des doses au public dans le cas d'un accident nucléaire ou d'urgence radiologique — principes, procédures et données*, Collection Sécurité n° 81, AIEA (1986) et *Energie nucléaire: Rejets accidentels — Guide pratique des mesures de santé publique*, OMS, Publications régionales, Série européenne n° 21, Copenhague, OMS, Bureau régional de l'Europe (1987).



administré à titre prophylactique à un total de 5,4 millions de personnes, dont 1,7 million d'enfants.) Outre cette mesure d'urgence et compte tenu des données nationales et internationales sur l'efficacité d'autres actions destinées à protéger le public, un grand nombre de mesures de prophylaxie et de protection ont été prises dans les régions proches du site de l'accident, ce qui a permis de réduire considérablement les doses d'exposition interne et externe de la population*. On trouvera ci-dessous un exposé détaillé des actions entreprises et de leur efficacité en situation réelle, c'est-à-dire au moment où l'on s'efforçait d'éliminer les conséquences de l'accident.

Evaluation des conséquences à long terme

Les informations recueillies dans les diverses régions de la partie européenne de l'Union soviétique ont montré que les rejets radioactifs provenant de la centrale de

Tchernobyl avaient eu des incidences sur la situation radiologique, non seulement à proximité de la centrale, mais aussi sur de grandes distances. Pour évaluer les conséquences radiologiques à long terme de l'accident, on a divisé le territoire de l'Union soviétique en 20 régions sur la base des régions économiques habituelles (voir carte).

L'analyse des résultats des calculs pour chacune des 20 régions économiques et pour l'ensemble de l'Union soviétique amène aux constatations suivantes:

- Le rôle de l'exposition externe due au nuage radioactif n'est pas important: 2,5 et 0,8% de la dose collective totale à la population soviétique dans la première année suivant l'accident et sur la durée d'une vie. Dans les zones à proximité de la centrale, le rôle de ce facteur augmente un peu en raison de la dose additionnelle reçue par la population habitant dans un rayon de 30 km et évacuée.
- L'exposition interne de l'organisme due à l'inhalation de substances radioactives représente aussi une part négligeable de la dose de rayonnement reçue par la population (4,5 et 1,4% de la dose annuelle et de la dose sur une vie). L'isotope principal dans ce cas est l'iode 131, et l'organe critique recevant la dose maximale est la glande thyroïde. Il est à noter que les expositions moyennes dues à l'iode 131 dans la population de Biélorussie ont été de 4,3 mGy pour les nourrissons (un an), de 3,7 mGy pour les enfants d'une dizaine d'années et de 5,0 mGy pour les adultes. Dans d'autres régions, ces doses étaient nettement inférieures;
- Compte tenu de toutes les mesures qui ont déjà été effectuées ou qu'il est prévu d'effectuer, l'exposition externe due aux retombées radioactives déposées sur le

* Plans d'intervention hors du site en cas d'accident nucléaire dans une installation — Recommandations, Collection Sécurité n° 55, AIEA (1981); L'iode radioactif et le problème de la protection radiologique, par L.A. Ilyin, G.V. Arkhangel'skaya, Yu.O. Konstantinov et I.A. Likhtarev (L.A. Ilyin, Ed.) Atomizdat, Moscou (1982) (en russe); Eléments de base pour la protection de l'organisme contre l'effet des substances radioactives, par L.A. Ilyin, Atomizdat, Moscou (1977) (en russe); «Les produits agricoles comme source de radionucléides — Principes d'organisation de l'agriculture à proximité d'installations nucléaires», par R.M. Aleksakhin, N.A. Korneev, L.I. Panteleev et B.I. Shukhovtsev, dans Sûreté et protection radiologiques dans les centrales nucléaires, 9ème édition (Yu.A. Egorov, Ed.), Energoatomizdat, Moscou (1985) 70 (en russe).

sol représente l'essentiel de la dose reçue par la population. Sa part relative passera de 53% l'année suivant l'accident à 60% de l'engagement de dose à la population. Il convient de noter que la part de l'exposition externe de la population soviétique au cours de l'année suivant l'accident représente 26,7% de l'engagement de dose public; 20,2% proviennent de l'iode 131 et d'autres isotopes de courte période, et les 6,5% restants sont répartis à peu près également (3,5% et 3%) entre le césium 134 et le césium 137. Pour ce qui est de la dose pendant la durée de la vie, le rôle principal est naturellement joué par le césium 137, dont la contribution représente 70% de l'exposition externe globale de la population due aux retombées radioactives déposées à la surface de la terre à la suite de l'accident. Dans le calcul des expositions à court terme et à long terme dues au césium 137, il a été tenu compte des modifications intervenues à la fois dans l'effectif total de la population et dans la taille relative de la population urbaine dans les différentes régions du pays. Il faut souligner que les travaux de décontamination ont notablement contribué à abaisser les doses d'irradiation gamma externes, en particulier dans les régions proches de la centrale de Tchernobyl. La décontamination de plus de 600 centres de population, l'enlèvement, puis l'enfouissement du sol contaminé, l'élimination des poussières sur de vastes superficies, l'asphaltage ou le recouvrement des secteurs contaminés par des cailloux, des gravillons, du sable ou de la terre, l'interdiction de certaines zones, les restrictions imposées à la production, et d'autres mesures analogues ont permis de réduire l'exposition moyenne de la population dans ces régions d'un facteur de deux à trois.

● L'exposition interne résultant de l'ingestion de substances radioactives constituait l'élément le plus maîtrisable. Les principaux nucléides responsables des expositions à la suite de l'accident étaient l'iode 131, le césium 134 et le césium 137. Avant l'accident, les normes en vigueur en Union soviétique, comme dans d'autres pays, concernaient uniquement l'incorporation annuelle admissible de matières radioactives par l'alimentation. On avait également établi un niveau de concentration admissible des nucléides dans l'eau potable. Mais il n'y avait pas de règles pour la teneur en radionucléides des différents produits alimentaires. Des normes applicables en cas d'accident existaient pour le produit critique (lait de vache) et pour le nucléide le plus important en cas d'accident, à savoir l'iode 131.

Normes pour les produits alimentaires

Au lendemain de l'accident de Tchernobyl, il a fallu apporter des solutions satisfaisantes aux problèmes d'inspection et d'interdiction à la consommation de certains produits alimentaires. Comme, pendant la période du printemps et de l'été, l'incorporation d'iode 131 par le lait surtout, mais aussi par les légumes feuilles, constituait la principale menace, on a introduit aussitôt après l'accident des normes sur la teneur admissible en iode 131 du lait et des produits laitiers (lait caillé, crème aigre, fromage et beurre) et des légumes feuilles comestibles. Les normes ont été calculées de manière à ce que les doses à la thyroïde chez les enfants ne dépassent pas 0,3 Gy. Cette condition a été satisfaite

dans le cas d'une concentration admissible d'iode 131 dans le lait de 3,7 kBq/l. Une norme semblable avait été introduite en Angleterre en 1957 à la suite de l'accident de Windscale. Des normes ont également été imposées pour le niveau admissible d'iode 131 dans la viande, la volaille, les œufs, les baies et les produits entrant dans la composition des médicaments. Au cours de la deuxième moitié du mois de mai 1986, il est apparu que, parallèlement à la désintégration de l'iode 131, le césium 137 et le césium 134 jouaient un rôle croissant dans la contamination de la viande et d'autres produits; on a également mis en évidence la présence d'isotopes d'éléments de terres rares dans des denrées alimentaires. Pour effectuer durant cette période la surveillance et l'inspection des denrées alimentaires sur une grande échelle, on avait besoin de normes compatibles avec des instruments de surveillance extrêmement simples, autrement dit de normes réglementant l'ensemble de l'activité bêta. Ces normes ont été approuvées par le Ministère de la santé publique le 30 mai 1986. Elles maintenaient une certaine continuité avec les normes antérieures des 8 et 12 mai, couvraient une gamme de produits plus large et tenaient compte des modifications de la situation radiologique observées à la fin du mois de mai. L'exposition globale admissible qui a servi de base pour le calcul de ces normes était de 0,05 sievert (Sv).

Dans les jours et les semaines qui ont suivi l'accident, la contamination radioactive des denrées alimentaires a été essentiellement due à l'iode 131. L'iode 131 est apparu dans le lait des vaches en pâture deux ou trois jours après l'accident. Dans le sud de la Biélorussie, dans certaines régions du nord de l'Ukraine et dans des provinces de la République socialiste fédérative soviétique de Russie (RSFSR) contigües à la région de l'accident, les niveaux de contamination du lait par l'iode 131 ont atteint durant cette période de 0,04 à 0,4 mBq/l, c'est-à-dire des valeurs des dizaines et même des centaines de fois supérieures à la norme établie. Toutefois, le lait des vaches gardées à l'étable était nettement moins contaminé. Dans chacune des provinces touchées par la contamination radioactive, on a contrôlé quotidiennement des centaines d'échantillons de lait, ce qui a permis d'obtenir des informations détaillées sur l'évolution de la contamination des produits agricoles, tant dans les régions que dans l'ensemble du pays. L'analyse de ces données a confirmé la distribution logarithmique normale de la concentration d'iode 131 dans le lait de vache et a permis d'établir que l'intégrale de la concentration d'iode 131 dans le lait vendu au public par le système centralisé était d'environ 107 Bq par litre pour la province Gomel de Biélorussie, 230 Bq par litre pour la province Mogilev de Biélorussie, et 10 à 100 fois inférieure, voire davantage, pour les autres provinces et républiques. En même temps, il convient de noter que le 17 mai 1986, par exemple, la teneur en iode 131 de 20 à 30% du lait était supérieure à 3,7 Bq/l dans les provinces de Biélorussie susmentionnées.

La mise en œuvre de toute une série de mesures contre la contamination du lait par l'iode 131 a permis de réduire notablement la part de ce facteur dans l'exposition de la population. Les évaluations ont montré que, par rapport aux régions où ces mesures n'avaient pas été prises parce que les niveaux de contamination du lait par l'iode 131 n'étaient pas élevés en termes absolus, on

était parvenu à réduire d'un facteur de 5 à 20 les doses individuelles reçues par la population dans les zones les plus fortement contaminées. La part globale de l'incorporation d'iode 131 par ingestion n'a représenté que 2,5% (1,1% en Biélorussie) de la dose totale reçue par la population soviétique, les expositions individuelles maximales de la thyroïde étant enregistrées dans la région économique du sud-ouest, qui réunit 13 provinces de l'Ukraine (notamment les provinces de Kiev, Chernigov et Zhitomir, c'est-à-dire les provinces limitrophes de la région de l'accident). La moyenne de ces expositions pour la région était de 26 mGy chez les enfants de un an, de 8,2 mGy chez les enfants de dix ans et de 2,6 mGy chez les adultes.

Au cours des premiers mois qui ont suivi l'accident, on a directement mesuré les concentrations d'isotopes de l'iode dans la thyroïde chez 330 000 personnes (dont 63% d'enfants) habitant à proximité de la zone évacuée sur un rayon de 30 km, et l'on a trouvé que l'activité moyenne de l'iode 131 pour cet organe était inférieure à 0,1 MBq; cette valeur correspond à des niveaux d'exposition près de dix fois supérieurs aux doses moyennes indiquées pour l'ensemble de la région économique du sud-ouest.

Pour évaluer le niveau d'ingestion d'isotopes du césium par des denrées alimentaires contaminées, on a utilisé les informations sur la contamination du lait, de la viande et des légumes dans toutes les régions de l'Union soviétique. On a constaté que, lorsque le rapport entre la concentration de césium 137 dans le lait (en Bq/l) et la densité de la contamination au sol (en kBq/m²) avait une valeur géométrique moyenne de 21 pour tout le pays, dans les régions les plus fortement contaminées, ce rapport avoisinait 5 pour le lait vendu au public par le système centralisé. On a également pu montrer que la distribution des échantillons contenant du césium 137 dans le lait vendu au public était conforme à la loi logarithmique normale, avec une moyenne géométrique de 43 Bq/l pour la Biélorussie, de 30 Bq/l pour la région économique du sud-ouest, et 12 Bq/l pour la région économique du centre (qui réunit les 12 provinces de la RSFSR). Des valeurs 2 à 4 fois supérieures ont été relevées pour la teneur de la viande en césium 137. La teneur de l'organisme humain en isotopes du césium a fait l'objet en 1986 et en 1987 de plus de 300 000 mesures; celles-ci ont indiqué que, dans près de 80% des cas, l'activité du césium 137 dans l'organisme ne dépassait pas 1 kBq, alors que le niveau attendu sur la base des calculs sur modèle était de l'ordre de 10 à 15 kBq. Pour l'ensemble du pays, l'ingestion de césium 134 et de césium 137 représentait 13 et 20% respectivement de la dose un an après l'accident.

Estimation des doses futures de césium

La prévision des effets radiologiques des isotopes du césium sur l'organisme humain à court terme et à long terme est plus difficile. A cette fin, il a été décidé d'utiliser les coefficients de transfert du césium 137 aux principaux types de produits agricoles calculés au cours de la période 1964-1986 à partir d'analyses de données provenant des activités de surveillance de la contamination du territoire soviétique par les retombées des essais nucléaires. Il a été établi sur la base de ces études que

la période du césium 137 dans le lait en Union soviétique est de 8,4 années; en d'autres termes, la composante sol «non contaminé» du modèle de décontamination pour le césium en tant qu'élément chimique est 0,06/a⁻¹. Sur la base de ce qui précède, on a retenu pour l'incorporation intégrale de césium 134 et de césium 137 les chiffres de 2,5 et 12% des niveaux d'incorporation de ces nucléides pendant la deuxième année suivant l'accident. Pour le calcul des doses collectives, il a aussi été tenu compte de la croissance démographique dans les différentes régions du pays, mais on a présumé que les habitudes alimentaires étaient restées inchangées par rapport à 1986. Il se peut que cette dernière hypothèse conduite à une certaine sous-estimation dans les résultats des calculs, étant donné que la consommation de viande et de produits laitiers a eu nettement tendance à augmenter au cours des dernières années en Union soviétique, alors que la consommation annuelle de pommes de terre et de pain accusait une diminution très marquée.

Sur la base de ce qui précède, la dose collective engagée pour la population soviétique par suite de l'ingestion d'isotopes de césium est estimée à 117 000 Sv-homme, dont seulement 27% sont imputables à la première année. Cette dose sera donc surtout engagée au cours de la deuxième année suivant l'accident et des années ultérieures, c'est-à-dire au cours d'une période pendant laquelle l'exposition de la population aux rayonnements peut être effectivement limitée grâce à une surveillance stricte des produits agricoles et à la mise en œuvre de mesures agrotechniques sur les terres contaminées, y compris au besoin la restructuration des fermes.

Conformément à des directives publiées par la Commission d'Etat de l'URSS pour l'agro-industrie, un ensemble de mesures agrotechniques et agrochimiques visant à rendre les produits agricoles propres à la consommation ont été prises dans les régions contaminées de l'Ukraine, de la Biélorussie et de la RSFSR en 1986 et 1987. On a labouré en profondeur et de grandes quantités d'engrais inorganiques ont été épandues sur des centaines de milliers d'hectares de terres contaminées dans ces républiques. Des travaux sont en cours en vue d'améliorer les pâturages. On s'efforce de réduire le transfert de substances radioactives du sol aux récoltes en procédant à des épandages de chaux, d'engrais phosphorés et potassés, et de certains absorbants (zéolithe). Au cours de la première année qui a suivi leur mise en œuvre, ces mesures ont permis de réduire les niveaux de contamination radioactive des produits agricoles d'un facteur compris entre 1,5 et 3. La mise en œuvre complète de toutes les mesures prescrites par la Commission d'Etat de l'URSS pour l'agro-industrie se traduira probablement par une réduction substantielle de l'exposition de la population imputable aux produits alimentaires.

Engagement de dose moyen par habitant

L'engagement de dose moyen global par habitant pour la population soviétique sera d'environ 1,2 mSv, ce qui, sachant que le fond de rayonnement naturel total correspond à 1 mSv/a en Union soviétique, se traduira par une augmentation globale d'environ 2% de la dose imputable au fond de rayonnement naturel. Ce chiffre

est approximativement deux à trois fois supérieur à la dose reçue par les populations de la Hongrie et de l'Italie, de la Suède et d'autres pays d'Europe occidentale qui ont été touchés par le rejet accidentel de la centrale de Tchernobyl.

Après l'adoption de toutes ces mesures, l'essentiel de la dose engagée pour la population soviétique a été imputable au rayonnement gamma externe provenant des retombées de l'accident qui se sont déposées sur le sol (environ 60%), 38% de cette dose étant imputable à l'exposition interne résultant de la consommation de denrées alimentaires contaminées. Il convient de noter que, dans les centres de population où des mesures préventives n'ont pas été prises en raison des faibles niveaux de rayonnement et de contamination des produits alimentaires en chiffres absolus, le rapport exposition interne/exposition externe de l'organisme un an après l'accident a été proche de 10 dans certains cas. Dans pratiquement tous les centres de population où la contamination des produits agricoles a été surveillée et où les denrées qui n'étaient pas conformes aux normes fixées ont été rejetées, le rapport exposition externe/exposition interne a été proche de 1.

Etablissement d'un registre sanitaire

Des centres scientifiques spéciaux et des programmes scientifiques complexes ont été établis en vue de l'observation biomédicale à long terme du public et des travailleurs. L'un des volets les plus importants de ces travaux sera l'établissement, pour toute l'Union soviétique, d'un registre où seront recensées toutes les personnes exposées aux rayonnements. Seront inscrits dans ce registre toutes les personnes qui résidaient dans les zones contaminées, toutes celles qui s'y trouvaient temporairement, les membres des équipes qui y ont été amenées pour combattre l'accident et ses conséquences, les enfants et les petits-enfants des groupes susmentionnés (à un stade ultérieur) et les personnes évacuées de ces zones. Afin de faciliter l'établissement du registre, on a élaboré des cartes d'enregistrement et de dosimétrie qui devront être remplies pour chaque personne en observation.

La carte d'enregistrement contient les renseignements suivants: nom de famille, prénom et patronyme, date et lieu de naissance, sexe, lieu de résidence, lieu où la personne a été soumise aux rayonnements, durée de l'exposition, renseignements anamnésiques sur l'état de santé; la personne était-elle enceinte lorsque l'exposition a commencé (nombre de semaines) ou l'est-elle devenue après le début de l'exposition? Issue de la grossesse, données sur l'enfant, cause du décès (adultes, enfants, nouveau-nés), mesures prises (hospitalisation, iode prophylactique).

La carte de dosimétrie contient des renseignements détaillés sur les caractéristiques sanitaires de la région et sur l'importance de la radio-exposition subie par l'intéressé (contamination des vêtements, des chaussures et des téguments avant et après la décontamination). La carte fournit des renseignements sur la teneur de la thyroïde en iode 131 (ce qui constitue un paramètre dosimétrique pour l'examen clinique des personnes contrôlées) et des renseignements dosimétriques individuels (mesures de substrats biologiques, mesures

effectuées au moyen d'un anthroporadiamètre et d'autres instruments).

Les cartes d'enregistrement et les cartes de dosimétrie doivent être remplies par les autorités sanitaires locales, puis envoyées au Ministère de la santé publique de la république concernée et au Ministère soviétique de la santé publique. Tous les renseignements consignés sur les cartes d'enregistrement seront également reportés sur un registre qui devra être conservé en permanence sur les lieux où les examens sont effectués. La fréquence des examens dépendra des résultats du premier examen et de la dose estimative reçue. Il est tenu compte des mesures de précaution et de protection mises en œuvre (administration d'iode à des fins prophylactiques, évacuation, limitation de l'incorporation de radioactivité par inhalation et ingestion).

Dans le cadre des travaux relatifs à ce registre, des examens médicaux de tous types ont été effectués sur près d'un million de personnes, parmi lesquelles 700 000 (dont 216 000 enfants) ont fait l'objet d'examens dosimétriques et d'analyses en laboratoire approfondis. Trente-deux mille personnes (dont 12 300 enfants) ont été examinées en tant que malades hospitalisés.

En 1986 et 1987, des équipes de spécialistes hautement qualifiés (hématologues, endocrinologues, pédiatres, radiologues, etc.) travaillant directement dans les régions contaminées ont procédé à une analyse de l'état de santé d'enfants et d'adultes parmi la population, analyse qui a confirmé l'absence d'écarts dans le profil sanitaire de ces groupes par rapport au groupe témoin.

Aucune anomalie n'a été observée dans le tableau de la morbidité ni dans les taux de mortalité infantile par rapport à ce qui ressort des statistiques médicales concernant la période de cinq à six ans précédant l'accident.

Une évaluation faite par des experts a montré que le profil des grossesses, des accouchements et du post-partum ne différait pas chez les femmes examinées de celui qu'on observait dans les régions témoins ou au cours des années qui ont précédé l'incident radiologique. Le nombre d'enfants nés en 1986 dans les régions contaminées ne s'écarte pas de la moyenne. La proportion d'enfants mort-nés n'a pas été supérieure au chiffre correspondant dans la région témoin. A Kiev, le centre de protection maternelle et infantile est en train de rassembler des données sur toutes les femmes qui étaient enceintes au moment de l'accident. Les données recueillies par le centre ont confirmé qu'aucun effet tératogène (effets résultant de l'exposition du fœtus aux rayonnements dans l'utérus au cours de l'accident de Tchernobyl) n'avait été observé.

L'étude endocrinologique effectuée pendant la période mentionnée plus haut n'a fait apparaître aucun cas d'hypothyroïdie imputable à l'exposition aux rayonnements chez les nouveau-nés et les mères; par ailleurs, aucune augmentation de l'incidence de l'hypothyroïdie n'a été enregistrée dans la population exposée.

Les analyses de dizaines de milliers d'hémogrammes d'habitants des zones contaminées, qui ont été effectuées en 1986 et en 1987, ont montré que la fréquence des écarts des valeurs trouvées par rapport à la moyenne se situait dans les limites de la fonction de distribution

normale pour les personnes virtuellement en bonne santé. Aucune des études effectuées ne fait apparaître la moindre différence dans la fréquence des écarts particuliers que présentent les analyses de sang effectuées sur les personnes exposées, par rapport au groupe témoin.

Des études détaillées effectuées en 1986 et 1987 n'indiquent chez les enfants exposés aux rayonnements aucune augmentation de la morbidité générale, ni d'entités nosologiques particulières, telles que pneumonie, allergies et maladies auto-immunes, malformations cardiovasculaires congénitales, etc. Une analyse de l'incidence des maladies infectieuses dans la population des zones contaminées a montré que les taux et la distribution de ces maladies y étaient les mêmes que dans l'ensemble du pays. La comparaison des taux de maladies oncologiques dans les régions considérées et dans les zones témoins ne fait apparaître aucun écart significatif. Le taux des tumeurs malignes des tissus hématopoïétiques et lymphatiques n'a pas augmenté. Aucun cas de leucémie n'a été enregistré parmi les enfants exposés en 1986-1987.

L'analyse des statistiques n'a révélé aucune augmentation du taux de maladies neuropsychiques dans la population des régions étudiées. Néanmoins, l'enquête menée auprès d'une partie de la population examinée a permis d'établir qu'au cours de la période suivant immédiatement l'accident certaines personnes avaient présenté des symptômes d'asthénie qui avaient pris la forme d'apathie physique et mentale et de troubles végétatifs. Au moment des examens, on a observé chez les adultes vivant dans les régions contaminées situées au-delà du rayon de 30 kilomètres de la centrale de Tchernobyl une anxiété accrue du fait des inquiétudes au sujet des risques pour la santé des enfants et de la perturbation des habitudes quotidiennes. Cette tension et un état chronique de stress causent un syndrome de phobie des rayonnements dans une partie de la population et peuvent, dans la situation radiologique actuelle, représenter pour la santé une menace plus sérieuse que l'exposition aux rayonnements eux-mêmes.

Efficacité des mesures prises

On peut affirmer sur la base de ce qui précède que la surveillance systématique de la santé de la population et de la situation radiologique dans les agglomérations comprises dans la zone contaminée a confirmé l'efficacité des mesures de prophylaxie et de protection prises dans ces zones; il convient de mentionner tout particulièrement à cet égard la décontamination des centres de population, l'éloignement pour raison de santé des enfants et des femmes enceintes pendant l'été, la surveillance systématique et régulière en 1986 et 1987 du niveau de contamination des denrées alimentaires produites localement, la mise en pâture des animaux laitiers dans des prairies non contaminées ou l'utilisation de fourrage non exposé et l'interdiction de consommer des denrées alimentaires contaminées. Toutes ces mesures ont réduit notablement l'exposition du public aux rayonnements, ramenant les chiffres moyens dans les régions les plus fortement contaminées des provinces de Gomel, de Kiev, de Bryans et de Mogilev à 10-15 mSv, dont moins de 50% étaient dus à l'exposition interne

causée par le césium 134 et le césium 137. L'exposition interne n'était supérieure à 50 mSv que chez 0,5-1% des personnes examinées. Comme des études ultérieures l'ont montré, les niveaux élevés d'isotopes de césium ingérés par ces personnes résultent du fait qu'elles ont passé outre aux interdictions concernant la consommation de produits contaminés venant de leurs propres fermes. Ce groupe, qui est essentiellement composé de retraités, comprend aussi un certain nombre de jeunes (mécaniciens, éleveurs) qui ont ouvertement enfreint les instructions des organismes de santé publique locaux concernant la nécessité de remplacer les aliments contaminés produits sur place par des produits non contaminés ramenés d'ailleurs.

Les évaluations montrent que la série de mesures de prophylaxie et de protection mises en place ont réduit de deux à trois fois les expositions externes individuelles par rapport aux doses prévues et de dix fois ou davantage la dose d'irradiation interne du public. Les mesures agrotechniques et sanitaires qui, comme on vient de le voir, doivent être prises dans les prochaines années, réduiront probablement l'engagement de dose de la population de certaines régions et de l'ensemble de l'Union soviétique par rapport aux valeurs indiquées ici.

En conclusion, il faut souligner la nécessité d'effectuer dans les prochaines années une analyse approfondie et globale de la somme d'expérience résultant du travail accompli pour éliminer les conséquences de l'accident de Tchernobyl. On a seulement essayé ici de cerner les éléments nouveaux dans la théorie et la pratique de la protection radiologique, et de rappeler les conclusions des travaux scientifiques connues avant l'accident qui se sont avérées particulièrement utiles au cours de la période postaccidentelle. Citons notamment à titre d'exemple:

- Parmi les différentes mesures prises pour protéger la population, la prophylaxie par l'iode s'est avérée particulièrement efficace dans les conditions très inhabituelles de l'accident (caractérisées par le rejet sur une longue période de gaz et d'aérosols à partir de la zone du réacteur).
- Il est essentiel d'établir des normes relatives à la contamination radioactive admissible pour des catégories données de produits alimentaires et des principes systématiquement applicables à la surveillance sur une grande échelle de la conformité à ces normes au moyen d'équipement très simple.
- L'expérience a confirmé l'intérêt que présentaient la division du périmètre contaminé en zones et l'exécution de contrôles dosimétriques spéciaux afin d'empêcher le transfert par l'homme de substances radioactives de la zone contaminée à la zone «propre».
- Il est possible d'effectuer un important travail de décontamination sur de grandes surfaces, ce qui réduit de deux ou trois fois les expositions externes et limite notablement le risque d'inhalation de radionucléides par l'homme, par suite de la formation secondaire de poussière.
- Dans la pratique, il est possible, en imposant des limitations à la consommation de denrées alimentaires contaminées et en introduisant des mesures agrotechniques spéciales, de réduire de dix fois ou plus les expositions internes résultant de l'ingestion de radionucléides.