

Les sources radioactives: la leçon de Goiânia

*Un dispositif d'intervention bien coordonné
a permis de limiter les dégâts
et de consigner l'expérience acquise*

Le 13 septembre 1987, une source blindée au césium 137, fortement radioactive, était extraite d'un appareil de téléthérapie abandonné dans une clinique désaffectée de l'Institut de radiothérapie de Goiânia, capitale de l'Etat de Goiás, au Brésil.

Le 18 septembre, la source, dont l'écran protecteur avait été brisé, a été vendue à un marchand de ferraille. Le 21 septembre, la capsule précédemment endommagée a été ouverte à son tour et des fragments de la source ont été emmenés à plusieurs endroits de la ville. Un bon nombre de personnes ont été directement irradiées et contaminées extérieurement et intérieurement. Plusieurs d'entre elles sont tombées malades et ont consulté des médecins de la ville.

Le 28 septembre, l'un d'entre eux a identifié les symptômes caractéristiques d'une surexposition à des rayonnements. Un physicien, prévenu dès le lendemain, a détecté une forte radioactivité et a notifié sans attendre les autorités sanitaires de Goiás, lesquelles se sont mises en rapport avec la Commission nationale de l'énergie nucléaire du Brésil (CNEN). Les autorités de l'Etat ont fait évacuer les zones contaminées et ont commencé à rechercher les personnes qui avaient pu subir une forte exposition.

La CNEN a immédiatement envoyé une première équipe à Goiânia pour aider à traiter les victimes et circonscrire les zones contaminées. Dans le même temps, elle a mobilisé des renforts et mis en place un centre de coordination de secours.

(Le Brésil a informé l'AIEA de l'incident et a demandé une aide en vertu de la nouvelle Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique. L'Agence a fait le nécessaire pour qu'un personnel médical spécialisé soit envoyé des Etats-Unis, elle a dépêché des experts de son service de coopération technique et obtenu la livraison de dosimètres et de matériel de surveillance radiologique par la France, la Hongrie, Israël, les Pays-Bas, la République fédérale d'Allemagne et le Royaume-Uni. En outre, l'Argentine, les Etats-Unis, la France, la République fédérale d'Allemagne, le Royaume-Uni et

l'Union soviétique ont de leur côté envoyé directement au Brésil d'autres spécialistes ainsi que du matériel.)

Vingt personnes en tout ont été hospitalisées. Malgré les soins intensifs qui leur ont été prodigués, quatre d'entre elles sont décédées. Vingt-huit autres ont été gravement contaminées. Au cours des deux mois qui ont suivi, plus de 112 000 personnes ont été examinées dans un centre de contrôle radiologique improvisé dans un stade. Il a fallu procéder à la décontamination de beaucoup d'entre elles.

Lorsque l'on eut compris toute la gravité de la situation, on s'empressa de délimiter les zones gravement contaminées et d'en interdire l'accès, ce qui fut fait en une journée. Les foyers de radioactivité les plus intenses ont été considérablement réduits par des écrans de protection mis en place autour des zones affectées. Deux semaines plus tard, toutes les zones contaminées avaient été repérées et isolées, et le nettoyage commençait.

Vers la fin d'octobre, on a entrepris d'évacuer les déchets des principales opérations de décontamination vers un site choisi par l'Etat de Goiás, à une vingtaine de kilomètres de Goiânia. A la mi-décembre, les restrictions imposées aux principales zones contaminées de la ville avaient été levées. Plus de 3000 m³ de déchets ont été déposés sur le site prévu.

En tout, plus de 700 personnes ont pris part à l'opération, dont des membres du personnel de la CNEN, de l'armée brésilienne, des sociétés NUCLEBRAS et FURNAS, de l'Etat de Goiás et d'établissements privés. La radioexposition de ce personnel s'est maintenue en moyenne aux alentours de 20% des doses limites annuelles de radioexposition professionnelle.

*Les circonstances de l'accident, les mesures d'intervention et les enseignements qui en ont été tirés font l'objet d'un rapport que l'AIEA vient de publier sous le titre **The Radiological Accident in Goiânia***. Ce rapport est issu d'une réunion d'experts organisée en 1988 à Rio de Janeiro par la CNEN et l'AIEA. En voici l'essentiel.*

* On peut se procurer cet ouvrage soit par l'intermédiaire d'un dépositaire agréé (voir liste au début de ce numéro) soit en s'adressant directement à la Division des publications de l'AIEA. Une version française de l'ouvrage est en préparation. Elle sera publiée sous le titre «L'accident radiologique de Goiânia».



Les autorités de Goiânia ont improvisé un centre sanitaire dans un stade pour l'isolement des victimes et le dépistage des cas de contamination en procédant à un contrôle radiologique individuel, comme on le voit sur notre photo. (Photo: CNEN)

L'accident

On sait maintenant que, vers la fin de 1985, un institut privé de radiothérapie de Goiânia — l'Instituto Goiano de Radioterapia — a emménagé dans de nouveaux locaux, emportant avec lui un appareil de téléthérapie au cobalt 60 et laissant sur place un appareil au césium 137 sans en aviser le service qui lui avait délivré le permis d'exploitation des appareils, comme il était tenu de le faire. Les locaux abandonnés ont ensuite été partiellement démolis, de sorte que l'appareil abandonné est resté sans aucune protection. Quelque temps après, en septembre 1987, deux inconnus ont pénétré dans ces locaux désaffectés; tout en ignorant ce dont il s'agissait, ils ont pensé qu'ils pourraient tirer quelque argent de l'appareil en le vendant comme ferraille; ils ont donc enlevé la source de la tête d'irradiation et l'ont emmenée chez eux pour la démonter.

Ce faisant, ils ont brisé la capsule qui entoure la source radioactive proprement dite, laquelle se présente sous forme de chlorure de césium, sel extrêmement soluble qui peut donc se disperser aisément. C'est ce qui s'est passé: plusieurs personnes ont été contaminées extérieurement et intérieurement. C'est ainsi qu'a débuté un des plus graves accidents radiologiques qui se soient jamais produits.

Après la rupture de la capsule, les restes du support de la source ont été vendus à un ferrailleur qui remarqua que, dans l'obscurité, l'objet luisait d'une lumière bleutée. Pendant un certain temps, des amis et des membres de sa famille vinrent lui rendre visite pour contempler ce phénomène insolite. De petits fragments de ce qui avait été la source, de la taille d'un grain de riz, furent ainsi distribués à plusieurs familles. Ce manège dura cinq jours, mais chez plusieurs personnes apparurent bientôt des symptômes de troubles gastro-intestinaux dus évidemment à leur exposition aux rayonnements.

Au début, ces troubles n'ont pas été attribués à la radioexposition, mais une des personnes irradiées a quand même fait le rapprochement entre ses malaises et la capsule; elle en a donc porté les restes au service de santé publique de la ville, déclenchant ainsi le processus qui révéla toute l'histoire.

Un physicien fut le premier à mesurer l'ampleur de la contamination radioactive; de sa propre initiative, il décida de faire évacuer deux zones. Simultanément, les autorités, qui avaient été alertées, ont décidé de mettre immédiatement en œuvre tout un arsenal de moyens. Plusieurs zones de contamination ont été délimitées et rapidement évacuées.

Les victimes

Dès que l'on sut qu'il s'agissait d'un accident grave, des spécialistes, notamment des physiciens et des médecins, ont été envoyés sur les lieux depuis Rio de Janeiro, São Paulo et Goiânia. Une fois sur place, ils se sont rendus au stade où était installé le centre provisoire de contrôle radiologique. Le dépistage a commencé et 20 personnes ont été envoyées à l'hôpital.

Quatorze d'entre elles furent par la suite transférées à l'hôpital Marcilio Dias — hôpital de la marine — à Rio de Janeiro. Les six autres ont été traitées à l'hôpital général de Goiânia où l'on avait installé un anthroporadiamètre pour pouvoir procéder aux analyses biochimiques et mesurer les effets d'une préparation au bleu de Prusse administrée aux patients dans les deux hôpitaux pour faciliter l'élimination du césium. Des analyses cytogénétiques ont permis de distinguer entre les personnes gravement atteintes et les cas bénins qui n'exigeaient pas un traitement intensif.

La décontamination de l'épiderme des victimes et l'exfoliation des parties présentant des radiolésions,

L'accident de Goiânia, toutes proportions gardées

Il existe une abondante documentation sur les accidents survenus depuis 1945 qui ont causé de fortes surexpositions aux rayonnements. La plupart de ceux qui ont mis en cause des installations nucléaires se sont produits dans les premiers temps de l'ère atomique; nombre d'entre eux étaient des accidents de criticité, dont plusieurs dans des réacteurs expérimentaux. Alors que la fréquence des accidents dans les installations nucléaires a beaucoup diminué au fil des ans, celle des autres types d'accidents a augmenté et plusieurs d'entre eux ont atteint des populations; certains même ont été mortels, car les sources radioactives intenses qui en étaient la cause ont échappé à tout contrôle et, n'ayant pas été identifiées comme telles, ont fini dans le domaine public.

Dans son ensemble, le problème est simple et bien documenté; certaines radiolésions graves, telles les radiodermites des mains dont souffrent les radiologues professionnels, n'ont cependant pas été signalées, alors que cette information eût été utile pour prévenir le retour de ces affections. Si l'on considère le nombre annuel de décès accidentels dans les autres secteurs de l'industrie, les victimes mortelles de radioexpositions accidentelles relevées dans le monde entier au cours des 40 dernières années ne sont pas si nombreuses. Le bilan de sûreté relativement satisfaisant des applications des rayonnements n'est cependant pas une raison pour se reposer sur ses lauriers, surtout s'il est possible, dans la pratique, de prendre des mesures pour réduire encore le risque de tels accidents.

Accidents radiologiques graves signalés entre 1945 et 1987

Type d'installation	Nombre d'accidents	Surexpositions	Décès
Installations nucléaires	27 (34 %)	272 (64 %)	35(59 %)
Installations non nucléaires			
Industrie	42 (52 %)	84 (20 %)	20(34 %)
Recherche	7 (9 %)	10 (2 %)	-(-)
Médecine	4 (5 %)	62 (14 %)	4(1 %)
	80 (100 %)	428 (100 %)	59(100 %)

La surexposition signifie ici l'exposition de l'organisme entier, des organes hématopoïétiques ou autres organes critiques à 0,25 Sv ou plus; de la peau à 6 Sv ou plus; d'autres expositions externes à 0,75 Sv ou plus; et une contamination interne de la moitié ou plus de la «limite annuelle d'incorporation». Le tableau ne tient pas compte des cas de malades traités et des cas d'exposition à l'extérieur du site de Tchernobyl.

Accidents radiologiques mortels signalés entre 1945 et 1987

Année	Lieu	Source de rayonnement	Cas mortels	
			Personnel	Public
1945	Los Alamos (Etats-Unis)	Assemblage critique	1	
1946	Los Alamos (Etats-Unis)	Assemblage critique	1	
1958	Vinča (Yougoslavie)	Réacteur expérimental	1	
1958	Los Alamos (Etats-Unis)	Assemblage critique	1	
1961	Suisse	Peinture tritiée	1	
1962	Mexico (Mexique)	Source de radiographie perdue		4
1963	Chine	Irradiateur de semences		2
1964	République fédérale d'Allemagne	Peinture tritiée	1	
1964	Rhode Island (Etats-Unis)	Usine de récupération de l'uranium	1	
1975	Brescia (Italie)	Irradiateur de semences	1	
1978	Algérie	Source de radiographie perdue		1
1981	Oklahoma (Etats-Unis)	Radiographie industrielle	1	
1982	Norvège	Stérilisateur d'instruments	1	
1983	Constituyentes (Argentine)	Réacteur de recherche	1	
1984	Maroc	Source de radiographie perdue		8
1986	Tchernobyl (URSS)	Centrale nucléaire	29	
1987	Goiânia (Brésil)	Source de téléthérapie volée		4
Total: 17 accidents, 59 morts			40	19

Note: Ce tableau concerne les accidents signalés dans les installations nucléaires et dans les installations non nucléaires du secteur de l'industrie, de la recherche et de la médecine (à l'exclusion des cas de malades en traitement).

Sources: "The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness" (Proc. REAC/TS Int. Conf. Oak Ridge, TN, 1979) (Hübner, K.F., Fry, S.A., Eds), Elsevier North Holland, New York (1980); Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants, *Rayonnements ionisants: sources et effets biologiques*, rapport à l'Assemblée générale pour 1982, Nations Unies, New York (1982).

—L'information et les tableaux sont repris du *Rapport d'ensemble sur la sûreté nucléaire pour 1987*, document de l'AIEA dont on peut se procurer des exemplaires auprès de la Division des publications de cette organisation. Pour la commande, voir la rubrique «Nouvelles publications de l'AIEA».



Enlèvement des objets contaminés. (Photo:CNEN)

ainsi que les excréments contaminés, ont posé de sérieux problèmes. Les examens hématologiques et médicaux quotidiens, la qualité des soins et des analyses biochimiques de culture de sang ont contribué à la détection rapide et au traitement des infections systémiques localisées.

Quatre des patients sont décédés après quatre semaines d'hospitalisation. L'autopsie a révélé des hémorragies et des complications septiques associées au syndrome d'irradiation aiguë. La meilleure évaluation indépendante de la dose de rayonnement à l'organisme entier de ces quatre victimes, obtenue par analyse cytogénétique, se situait entre 4,5 et plus de 6 grays (Gy). Deux patients ayant reçu des doses analogues ont survécu. Un nouveau médicament du genre hormone, stimulant des granulocytes macrophages, a été utilisé pour traiter les personnes surexposées, mais les résultats n'étaient pas concluants. En l'espace de deux mois, tous les survivants en traitement à Rio de Janeiro furent envoyés à l'hôpital général de Goiânia où l'on a continué le traitement d'élimination du césium jusqu'à ce que l'on puisse les renvoyer chez eux sans risque.

En tout, quelque 112 000 personnes ont été examinées, dont 249 ont été trouvées porteurs d'une contamination interne ou externe. Certains sujets avaient subi une très forte exposition en manipulant du chlorure de césium, mangeant ensuite avec les mains contaminées, séjournant dans des locaux contaminés ou encore touchant divers objets ou ustensiles contaminés.

Plus de 110 spécimens de sang prélevés sur des personnes touchées par l'accident ont été analysés par des méthodes cytogénétiques. On a déterminé la

fréquence des aberrations chromosomiques dans des lymphocytes de culture, et les doses absorbées ont été évaluées à l'aide de courbes d'étalonnage *in vitro*. Les valeurs s'échelonnaient de zéro à 7 Gy. L'étude statistique des cellules présentant des aberrations chromosomiques a permis de conclure que les victimes avaient subi des expositions hétérogènes. Les personnes fortement exposées sont toujours sous surveillance radiologique afin de déterminer les aberrations cytogénétiques dans les lymphocytes.

Des spécimens d'urine ont été pris chez des individus dont on pouvait supposer qu'ils avaient subi une contamination interne, et leur analyse a facilité le dépistage. De même, des spécimens d'urine et de matières fécales ont été prélevés tous les jours chez ceux qui présentaient une contamination interne. Les quantités absorbées et les doses engagées ont été évaluées à l'aide de modèles mathématiques tenant compte de l'âge. L'efficacité du bleu de Prusse comme facteur d'élimination du césium a été évaluée à partir des quantités relatives de césium présentes dans les selles et dans l'urine. L'anthroporadiamètre installé à Goiânia a permis d'apprécier les effets du dosage sur la période biologique du césium dans l'organisme.

Contamination de l'environnement

L'environnement a beaucoup souffert de l'accident. La décontamination s'est faite en deux temps: il a fallu d'abord agir de toute urgence pour circonscrire toutes les zones dangereuses, ce qui était fait pour l'essentiel

dès le 3 octobre, mais l'opération n'a été réellement terminée que vers Noël 1987. Il a fallu ensuite remettre les choses en état et rétablir des conditions de vie normales, opération qui a duré jusqu'en mars 1988.

Le principal souci était d'éviter les fortes doses individuelles qui risquaient d'avoir des effets non stochastiques, de repérer les principales zones de contamination, et de les neutraliser. A ce stade, il s'agissait d'abord de contrôler toutes les sources d'exposition, opération qui a duré trois jours.

Les premiers contrôles radiologiques ont été faits à pied dans ces zones contaminées. Plusieurs foyers principaux ont été repérés aux alentours des dépôts de ferraille; des débits de dose jusqu'à 1 sievert/heure à un mètre de distance ont été relevés en plusieurs points.

Une reconnaissance aérienne par un hélicoptère spécialement équipé a permis de s'assurer qu'aucune zone importante de contamination n'avait échappé à la détection. En deux jours, toute l'agglomération urbaine de Goiânia — plus de 67 km² — a été passée au crible. L'extension des sept foyers principaux a été confirmée et on n'a découvert qu'une seule zone qui avait échappé aux contrôles précédents, où l'on a relevé un débit de dose de quelque 20 millisieverts (mSv) par heure à un mètre.

Il se peut que certaines zones de moindre contamination soient passées inaperçues, notamment au voisinage des zones fortement contaminées entourant les principaux foyers. Une surveillance extensive intéressant de plus larges périmètres, bien que limitée aux routes, a été pratiquée. Pour cette opération, on a utilisé des détecteurs montés à bord de véhicules automobiles, ce qui a permis de contrôler 80% du réseau routier de Goiânia,

soit un parcours de plus de 2000 km. Les principaux foyers de contamination étaient précisément les dépôts de ferraille et les locaux d'habitation où la capsule contenant la source avait été ouverte; en tout, environ 1 km².

Des niveaux d'intervention ont été fixés pour cette première phase des opérations: restriction d'accès (10 mSv par heure); évacuation et accès interdit (2,5 mSv par heure et ultérieurement 10 mSv par heure pour les maisons d'habitation, et 150 mSv par heure pour les zones non occupées); pour les membres des équipes de secours, fixation de limites de dose et des débits de dose correspondants, par jour, par semaine et par mois. Au total, 85 maisons ont été trouvées assez fortement contaminées et 200 personnes ont été évacuées de 41 d'entre elles. Deux semaines plus tard, 30 maisons étaient rendues à leurs occupants. Il faut préciser que ces seuils, qui correspondaient *grosso modo* aux niveaux d'intervention les plus bas qu'aient recommandés la Commission internationale de protection radiologique et l'AIEA, étaient très restrictifs à cause des pressions politiques et sociales qui s'exerçaient.

Par la suite, on a suivi la dispersion de la contamination dans toute la région et dans le bassin hydrographique. A Goiânia même, un laboratoire a été installé pour mesurer les concentrations de césium dans les sols et les eaux souterraines, les sédiments et les eaux courantes, l'eau potable, l'air et les denrées alimentaires. Des précautions ont dû être prises uniquement en ce qui concerne le sol et les fruits situés dans un rayon de 50 m autour des principaux foyers.

La suite des opérations, qui consistait essentiellement à remettre les choses en état, s'est heurtée à diverses

Surveillance, emploi et mise au rebut des sources radioactives

Des sources radioactives de divers types et d'intensité variable sont largement utilisées dans l'industrie, en médecine, pour la recherche et l'enseignement dans pratiquement tous les Etats Membres de l'Agence. Une source dont on perd le contrôle peut donner lieu à des expositions non prévues des travailleurs, des patients et de membres du public, dont l'issue peut être fatale. Ce fut le cas au Mexique en 1983/84, au Maroc en 1984 et, plus récemment, au Brésil en 1987.

Des programmes de l'Agence visant à réduire la probabilité de tels accidents ont été mis en œuvre il y a quelque temps déjà, tels le Programme de services consultatifs pour la gestion des déchets (WAMAP) et les équipes consultatives pour la radioprotection (RAPAT). A la suite des événements de 1987, on a de surcroît redoublé d'efforts pour améliorer le contrôle des sources scellées dans les pays Membres de l'Agence.

Vers la fin de 1987, l'Agence a mis en œuvre de nouveaux programmes pour renforcer ses moyens d'aide matérielle aux Etats Membres en ce qui concerne la surveillance des sources en service et leur élimination à la fin de leur période utile. L'assistance dans ce domaine est fournie sur deux plans:

- Assistance à court terme en matière d'évacuation des déchets. Une action immédiate peut se justifier dans certains Etats Membres qui ne sont pas encore équipés pour gérer et éliminer des sources radioactives en toute sécurité. Ces cas particuliers sont relevés, en principe, dans les rapports des missions WAMAP ou RAPAT. L'Agence envisage d'examiner la question et ses problèmes connexes avec les Etats Membres, notamment les pays fournisseurs de sources radioactives.

- Développement des moyens nationaux de gestion des déchets. L'Agence donnera des conseils sur les méthodes à suivre pour rassembler et immobiliser les sources et, le cas échéant, pour les stocker sans danger et les éliminer définitivement. Elle insistera sur la normalisation des aménagements et des méthodes en fournissant par exemple des plans d'installations de fixation et de stockage. Il est prévu de faire la démonstration de bon nombre des techniques pertinentes vers la fin de 1988 dans le cadre d'une mission WAMAP. Des préparatifs sont en cours pour réaliser un film vidéo sur ces techniques qui sera joint à la documentation fournie et pourra, en outre, être utilisé pour les cours de formation.



Pendant l'opération de décontamination, un excavateur est utilisé pour éliminer un point chaud avant de procéder à la démolition de la maison. (Photo: CNEN)

difficultés lorsqu'il s'est agi de quadriller la zone urbaine et le bassin hydrographique. La tâche était d'autant plus difficile que de fortes pluies se sont abattues sur la région entre le 21 et le 28 septembre, favorisant encore la dispersion du césium dans l'environnement. Contrairement à ce que l'on pensait, la radioactivité, au lieu d'être emportée par les eaux, s'est déposée sur les toits, devenant ainsi la cause principale des débits de dose mesurés dans les habitations.

La contamination de l'eau potable était extrêmement faible et les eaux souterraines en étaient exemptes à l'exception de quelques puits aux alentours des principaux foyers de contamination, où les concentrations de césium dépassaient tout juste le niveau détectable.

L'essentiel de l'action entreprise à ce stade a consisté à décontaminer les zones les plus touchées, notamment les abords des principaux foyers, les maisons d'habitation, les lieux publics, les véhicules, etc. Pour éliminer les principaux foyers, il a fallu employer le gros matériel de terrassement pour charrier de grosses masses de terre et démolir les maisons. Il a aussi fallu confectionner de nombreux récipients de divers types pour les déchets, chercher un site de stockage temporaire et l'aménager. Ce problème fut réglé dès la mi-novembre, et l'on a commencé aussitôt à décontaminer les foyers principaux et les zones restantes, opération qui s'est prolongée jusqu'à la fin de décembre 1987.

Les niveaux d'investigation retenus pour décider des mesures à prendre correspondaient à une dose de 5 mSv

pendant la première année et de 1 mSv par an par la suite. Il a fallu démolir sept maisons et emporter les gravats et de la terre. La terre enlevée a été remplacée par du béton ou du sol frais compacté. Dans les lieux peu contaminés, la principale source d'exposition était la poussière radioactive qui s'était déposée sur le sol; là encore, après enlèvement de la surface, on recouvrait le cas échéant avec de la terre fraîche. Sur les 159 maisons examinées, 42 ont dû être décontaminées à l'aspirateur à l'intérieur et par lavage au jet à l'extérieur. Diverses méthodes de décontamination chimique se sont avérées très utiles, chacune étant adaptée à la situation, aux matériaux à décontaminer et au niveau de radioactivité.

Les niveaux d'intervention qui ont motivé ces mesures correctrices ont été décidés sous une forte pression des milieux politiques et de l'opinion publique. Ils ont été fixés à des valeurs sensiblement inférieures à celles qu'aurait données l'application du principe d'optimisation. On pourrait même dire que, dans la plupart des cas, elles correspondaient plutôt à une situation normale qu'aux suites d'un accident.

Après les fêtes de Noël de 1987, les zones à moindre débit de dose entourant les principaux foyers ont été décontaminées. Ce travail n'a pas exigé l'emploi de matériels lourds, et les procédures d'optimisation ont été mises au point et appliquées. Cette opération a duré jusqu'en mars 1988.

L'intervention a produit dès le début de grandes quantités de déchets radioactifs. Un site pour le stockage

temporaire a été choisi à 20 km de Goiânia. Ces déchets ont été classés en trois catégories : non radioactifs (en dessous de 74 kBq/kg), de faible activité (en dessous de 2 mSv/h) et d'activité moyenne (entre 2 et 20 mSv/h). Divers types d'emballage ont été utilisés, selon les niveaux de contamination : 3800 fûts métalliques de 200 l, 1400 coffres métalliques de 5 tonnes, 10 conteneurs de transport de 32 m³ et 6 ensembles d'emballage en béton. Le dépôt provisoire était prévu pour 4000 à 5000 m³ de déchets, soit environ 12 500 fûts et 1470 coffres.

En fait, le volume total a atteint 3500 m³, soit plus de 275 camions, quantité considérable qui résultait essentiellement des niveaux d'intervention appliqués, tant au cours de la période d'urgence que pendant les opérations de nettoyage. Les dépenses dues à l'application de ces niveaux, surtout pendant cette dernière phase, sont loin d'être négligeables.

Un système d'échantillonnage a été mis en place pour surveiller le ruissellement, notamment dû aux fortes pluies, à partir du terre-plein sur lequel étaient déposés les déchets. La radioactivité responsable de la contamination a été estimée à quelque 44 térabecquerels (1200 curies), alors que la radioactivité connue de la source était, avant l'accident, de 50,9 térabecquerels (1375 curies). On n'a pas encore décidé où les déchets seraient définitivement stockés.

Observations et recommandations

Bien souvent, les accidents radiologiques ne mettent en évidence que ce que l'on sait déjà. Nombreuses sont les observations et les recommandations qui ont été faites à l'issue de l'examen de l'accident de Goiânia. Cela dit, elles ne se rapportent pas nécessairement aux conditions particulières de cet accident.

En l'occurrence, l'une des principales conclusions a été que rien ne peut atténuer la responsabilité de la personne désignée comme responsable de la sûreté de la source, dans l'éventualité d'un accident de cette nature. L'enlèvement d'une source radioactive de l'endroit spécifié lors de la notification, de l'enregistrement et de l'autorisation peut constituer un risque majeur. Pour prévenir une telle négligence, la personne responsable devrait donc prendre les dispositions nécessaires pour assurer le contrôle et la sûreté de la source. S'il est vrai que la réglementation a pour objet de s'assurer que le nécessaire est fait aux niveaux professionnel et administratif, elle ne peut ni ne doit d'aucune façon dégager la direction de l'établissement de sa responsabilité.

Pour faciliter la tâche du responsable de la source, il faudrait que les modalités d'application de la réglementation soient précises, simples et faciles à mettre en œuvre. En particulier, la communication entre tous ceux qui interviennent dans l'application des mesures de radioprotection devrait être assurée.

L'information du grand public sur les dangers que peuvent présenter les sources de rayonnement peut grandement contribuer à réduire la probabilité des accidents radiologiques. Il faudrait envisager un système de marquage signalant les risques d'irradiation d'une façon aisément compréhensible par le grand public.

Les propriétés physiques et chimiques des sources radioactives ont une grande influence sur la nature des accidents, et il conviendrait d'en tenir compte au moment de délivrer les autorisations aux fabricants de ces sources, car elles déterminent les effets que peuvent avoir les sources accidentées ou mal utilisées.

Malgré toutes les précautions, un accident peut toujours survenir et comporter un risque radiologique, de sorte qu'il faut disposer d'un système rationnel de transmission de l'information et des instructions. Il y a donc lieu de prévoir des dispositions pour faire face non seulement aux situations d'urgence radiologique dues à un accident nucléaire, mais aussi à tous les accidents possibles qui comportent un risque de radioexposition.

Sur le plan médical, l'expérience acquise à Goiânia confirme dans l'ensemble que les techniques de diagnostic actuelles, ainsi que les antibiotiques administrés et les méthodes de séparation des plaquettes et de transfusion sont satisfaisants. En outre, la preuve a été faite de l'utilité des méthodes cytogénétiques pour estimer les doses et de la remarquable efficacité du bleu de Prusse pour l'élimination de la contamination interne par le césium 137.

Les traitements de victimes des accidents radiologiques sont extrêmement variés et complexes. Les patients doivent être hospitalisés et confiés à un personnel constamment occupé aux traitements hématologique, chimiothérapeutique, radiothérapeutique et chirurgical de malades souffrant de cancer, d'immunosuppression et de dyscrasie sanguine. En général, le personnel et les services médicaux ne sont pas préparés pour répondre à des urgences radiologiques ou traiter des cas de radiolésion. Il faudrait donc prévoir, dans le cadre des plans d'intervention, un service d'urgence assuré par un personnel médical spécialement formé. Cela dit, le personnel non nucléaire devrait être tout aussi capable que le personnel médical spécialisé d'identifier une radiolésion. Il s'agit simplement de diffuser largement l'information par des programmes éducatifs.

Quant à la contamination de l'environnement due à un accident nucléaire, il ne faut pas négliger le problème de la décision concernant les niveaux d'intervention. On a toujours tendance à imposer des valeurs extrêmement restrictives pour déclencher les opérations, qui répondent la plupart du temps à des considérations d'ordre politique et social. Tous ces critères impliquent en fait un assez gros effort sur le plan économique et social, en plus des frais occasionnés par l'accident proprement dit, qui ne se justifient pas dans tous les cas.

Enfin, il ne faut pas oublier de faire dès que possible un compte rendu circonstancié de l'accident, car les faits ont tendance à s'estomper avec le temps. Il importe en particulier d'informer les médias, le public et, bien entendu, les équipes d'intervention. Plus spécialement, ces dernières devraient recevoir une aide en matière d'administration et d'information qui soit proportionnelle à la gravité de l'accident. Dans les cas les plus sérieux, cette aide doit être fournie sur place dans les meilleurs délais. Toute personne qui peut être appelée à faire partie d'une équipe d'intervention en cas d'urgence radiologique doit recevoir une formation théorique et pratique adaptée aux tâches qui lui seraient confiées.

Conclusions de la Commission nationale de l'énergie nucléaire du Brésil

- Les conséquences d'un accident radiologique avec contamination due à la détérioration d'une source radioactive peuvent s'aggraver si l'on tarde beaucoup à le découvrir.

- La gravité de l'accident dépend dans une large mesure des propriétés physiques et chimiques de la source radioactive. Les fiches techniques des sources scellées devraient préciser ces propriétés, dont il faudrait tenir compte au moment de la délivrance de l'autorisation au fabricant, en signalant les conséquences possibles d'un accident ou d'un mauvais usage de la source.

- Il est essentiel de prévoir des moyens d'information appropriés pour éviter la panique parmi la population. D'une façon générale, le public devrait être informé de la nature des rayonnements et de leurs applications. Une brochure expliquant les expressions et unités spéciales au domaine radiologique devrait être mise à la disposition des médias. En cas d'urgence radiologique, il faudrait constituer un groupe chargé d'informer le parlement, les écoles, les églises, les collectivités, etc., ainsi que les moyens d'information. Le personnel affecté à la décontamination et au traitement des victimes devrait recevoir des instructions sur la manière de communiquer l'information en termes compréhensibles pour la population. Le rapport avec les personnes touchées par l'accident de Goiânia s'est révélé très important: les gens jugent de la gravité de la contamination d'après les réactions du personnel des équipes de secours. Les personnes les plus affectées par un accident croiront que leur logement est réellement décontaminé lorsque les membres des équipes d'intervention accepteront le verre d'eau ou la tasse de café qu'elles leur auront offerts.

- Il conviendrait de mettre en place un dispositif efficace d'aide sociale et morale à la suite d'un accident radiologique très polluant. L'appui moral devrait émaner des personnes directement ou indirectement touchées par l'accident et du personnel d'intervention. Des psychologues devraient être disponibles pour donner des conseils, se joindre au groupe chargé de prendre les décisions d'urgence et de planifier l'intervention, et évaluer le cas échéant le degré de tension nerveuse des victimes.

- L'efficacité de l'assistance internationale dépend de l'infrastructure du pays où l'accident s'est produit. Les cours de formation à l'intervention d'urgence, dont la coordination est assurée par l'AIEA, devraient avoir lieu non seulement dans les pays développés bien équipés mais aussi dans les pays en développement. En général, ces cours traitent des moyens d'intervention que peuvent offrir de puissants organismes dans des conditions connues d'avance. Or, les conditions peuvent

varier considérablement d'un pays à l'autre, de même que le matériel, les conditions climatiques et les habitudes de gestion.

- Une équipe de premiers secours aéroportés devrait être disponible à tout moment.

- L'AIEA devrait tenir un fichier du matériel radiologique disponible. Les règlements douaniers devraient être modifiés de façon à faciliter l'importation et la réexportation du matériel et des équipements nécessaires. L'AIEA devrait disposer d'une réserve de matériel radiologique prêt à être expédié et créer sur chaque continent un centre régional d'intervention.

- Les instruments devraient être conçus de manière à pouvoir s'adapter aux conditions en campagne, et fonctionner en milieu très humide ou très chaud et dans des conditions environnementales perturbées. Le personnel utilisant ces instruments devrait savoir comment déterminer les débits de dose, sans ambiguïté et sur une grande étendue de mesures, savoir aussi choisir le matériel le mieux adapté à la situation et connaître ses caractéristiques d'étalonnage.

- Il faudrait tenir à jour une liste du personnel disponible classé selon ses spécialités et pouvoir se mettre en rapport avec des experts de l'AIEA dans les divers domaines d'intervention pour qu'ils viennent à l'aide des équipes locales de radioprotection. Ces experts devraient être en mesure d'orienter les décisions et les mesures à prendre et de participer à toutes les tâches indispensables. L'expérience acquise à Goiânia montre que les «meilleurs» rapports semblent être ceux de spécialistes qui n'avaient pas participé aux opérations.

- Il faut absolument prévoir un site de stockage temporaire des déchets à proximité de la zone sinistrée. Tout retard dans le choix du site, qui dépend généralement d'une décision politique, risque de favoriser la dispersion des matières radioactives dans l'environnement.

- Un cadre de génie civil doit être disponible pour prendre part aux opérations de décontamination.

- La direction et l'organisation des équipes d'intervention doivent respecter une hiérarchie bien précise. La responsabilité des décisions, au niveau de la planification, de l'action et de l'évaluation des conséquences, devrait bien spécifier les fonctions de chaque groupe. Si possible, les groupes devraient avoir un chef dans les conditions normales de travail.

- Dans la plupart des cas, il importe de prévoir un programme d'inspection des matériels et installations radiologiques, mais il faut aussi prendre des dispositions pour assurer son efficacité, par exemple en instituant un régime de responsabilité civile ou professionnelle associé à l'homologation des sources.

