

## Deux lustres après Tchernobyl: fondements des décisions

*Une grande conférence internationale fait le bilan de l'étude scientifique des conséquences de l'accident*

### Synthèse des résultats

**O**n a beaucoup appris au cours des dix dernières années sur le tragique accident de Tchernobyl du 26 avril 1986, mais d'importants problèmes restent à résoudre. Pour résumer objectivement la situation afin que la communauté internationale puisse maintenir son assistance, l'AIEA, la Commission européenne (CE) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ont réuni une grande conférence internationale en avril 1996 pour faire le bilan de l'étude scientifique des conséquences de l'accident (voir l'encadré). La synthèse des résultats repose sur les rapports et exposés d'orientation, les documents de référence préparés par des comités d'experts, les débats auxquels ils ont donné lieu et les conclusions des diverses séances thématiques. Le secrétariat commun a recommandé de l'utiliser pour fonder les décisions concernant les activités et la collaboration futures visant à atténuer les effets de l'accident. Nous en présentons ici l'essentiel\*.

### Première réaction à l'accident

Il a fallu prendre d'urgence des mesures pour maîtriser les rejets de matières radioactives, dégager

les décombres du réacteur et construire une structure du confinement, le «sarcophage», terminé en novembre 1986, pour isoler le reste du cœur du réacteur.

L'intervention a été menée par 200 000 «liquidateurs» — *likvidator* en russe — dans la région de Tchernobyl entre 1986 et 1987 au moment où la radioexposition était la plus forte. Le personnel *ad hoc* comprenait les opérateurs de la centrale, des sapeurs-pompiers, du personnel militaire volontaire et des non-professionnels, et comptait parmi les 600 à 800 000 personnes de la liste des participants aux activités visant à atténuer les conséquences de l'accident (déblayage, notamment autour du réacteur, construction du sarcophage, décontamination,



\* Le texte intégral figure dans le compte rendu de la conférence publié par l'AIEA.



Les conséquences de l'accident de Tchernobyl dépassent de loin ses effets radiologiques, bien que ceux-ci soient fréquemment les plus commentés. Maints problèmes qui assaillent encore les populations des villages et des villes les plus gravement atteints sont d'une autre nature et leur solution exige un complément d'étude et de ressources.

**Ci-contre:** Enceinte barbelée de la zone d'exclusion de 30 km. **Ci-dessus dans le sens horaire:** Médecins examinant des enfants en Ukraine; une ferme de la zone d'exclusion où certains évacués ont décidé de revenir; au Bélarus, on apprend à mesurer la radioactivité dans les habitations; vue aérienne de la centrale de Tchernobyl, avec son sarcophage sur la droite; les fermiers sont informés de la radioactivité.

(Photos: Mouchkine/AIEA, Pavlicek/AIEA; Gouvernement du Bélarus; Eric Voice)

construction de routes, et destruction et enfouissement de bâtiments, d'arbres de forêts et de matériel contaminés). La nombreuse main-d'œuvre a travaillé dans les territoires contaminés, sans être trop exposée dans l'ensemble.

Entre le 27 avril et la mi-août 1986, environ 116 000 habitants ont été évacués des alentours de la centrale afin d'éviter leur radioexposition. Une zone d'exclusion de 4 300 km<sup>2</sup>, comprenant les territoires où les débits de dose étaient les plus élevés, a été délimitée et interdite au public. Elle a été maintenue au Bélarus et en Ukraine devenus indépendants à la suite du démembrement de l'Union soviétique.

### Rejets et retombées de matières radioactives

L'activité totale des matières radioactives rejetées au cours de l'accident est évaluée à quelque  $12 \times 10^{18}$  Bq, dont  $6$  à  $7 \times 10^{18}$  Bq de gaz nobles\*. Entre 3 et 4 % du combustible présent dans le réacteur au moment de l'accident, jusqu'à 100 % des gaz nobles et de 20 à 60 % des radionucléides volatils ont été rejetés. Cette estimation est supérieure à celle de 1986, que les autorités de l'ex-URSS ont obtenue en totalisant l'activité des matières déposées sur leur territoire. La réévaluation du terme source ne change cependant rien aux estimations des doses individuelles.

La composition en radionucléides des matières rejetées est complexe. Les radio-isotopes de l'iode et du césium sont les plus importants du point de vue radiologique: ceux de l'iode, de courte période, l'ont été à brève échéance, tandis que ceux du césium, avec des périodes de plusieurs dizaines d'années, ont pris la relève à long terme. L'activité des principaux radionucléides rejetés est évaluée comme suit: iode 131:  $\sim 1,3-1,8 \times 10^{18}$  Bq; césium 134:  $\sim 0,05 \times 10^{18}$  Bq; césium 137:  $\sim 0,09 \times 10^{18}$  Bq. Ces valeurs correspondent à environ 50 %-60 % de l'iode 131 présent dans le cœur du réacteur au moment de l'accident et à environ 20 %-40 % des deux radio-isotopes du césium.

**Dépôt des matières.** Les rejets dans l'atmosphère se sont largement dispersés pour finalement retom-

ber sur la surface de la Terre. On a pu les mesurer pratiquement dans tout l'hémisphère Nord.

La plupart des matières se sont déposées dans les environs de la centrale à des concentrations extrêmement variables. La superficie des régions du Bélarus, de la Fédération de Russie et de l'Ukraine où l'on a relevé des activités de césium 137 supérieures à 185 kBq/m<sup>2</sup> est évaluée à 16 500 km<sup>2</sup>, 4 600 km<sup>2</sup> et 8 100 km<sup>2</sup> respectivement.

### Doses de rayonnement

Les liquidateurs ont reçu des doses moyennes de l'ordre de 100 mSv\*\*, environ 10 % d'entre eux, des doses de l'ordre de 250 mSv, quelques pour cent, des doses supérieures à 500 mSv, et plusieurs dizaines des membres des équipes d'intervention initiales, des doses potentiellement létales de quelques milliers de mSv.

Les 116 000 personnes évacuées de la zone d'exclusion en 1986 étaient déjà irradiées. Moins de 10 % avaient reçu des doses supérieures à 50 mSv et moins de 5 %, des doses supérieures à 100 mSv.

Les radio-iodes ont irradié la thyroïde\*\*\*. L'iode passe dans le sang, après absorption d'aliments, principalement de lait contaminé, et par inhalation dans le nuage radioactif initial, et s'accumule dans la thyroïde. Des doses à la thyroïde particulièrement élevées étaient prévues, comparées à celles aux autres organes, en particulier chez les enfants.

Les doses à long terme aux populations de divers pays de l'hémisphère Nord, y compris les doses moyennes dans différents pays, ont été évaluées par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR). Les évaluations des doses individuelles hors de l'ex-URSS sont les suivantes:

\*\* La dose de rayonnement est une mesure de l'énergie absorbée par les tissus, par unité de masse, pondérée par l'efficacité du type de rayonnement et la radiosensibilité du tissu considéré. Les unités sont le sievert (Sv) et son sous-multiple le millisievert (mSv). A titre de comparaison, la dose moyenne annuelle mondiale due au fond naturel de rayonnement est de 2,4 mSv, avec d'importantes variations d'une région à l'autre. Sur une durée de vie normalisée de 70 ans, un individu reçoit donc de cette source une dose moyenne de  $2,4 \text{ mSv} \times 70 = 170 \text{ mSv}$ .

\*\*\* Les doses aux différents organes s'expriment généralement en grays (Gy). Avec le type de rayonnement considéré ici, une dose de 1 Gy à la thyroïde correspond à un équivalent de doses (pondéré) à cet organe de 1 Sv.

\* La quantité d'un radionucléide s'exprime en «activité»: nombre de transformations nucléaires spontanées par seconde qui émettent un rayonnement. L'unité est le becquerel (Bq).

**La conférence internationale  
Dix ans après Tchernobyl: récapitulation des conséquences de l'accident  
par Malcolm Crick**

**D**u 8 au 12 avril 1996, au Centre international de Vienne, l'AIEA, la Commission européenne (CE) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ont parrainé une conférence internationale pour faire la synthèse de l'étude scientifique des principales conséquences sociales, sanitaires et écologiques de l'accident de Tchernobyl. Cette conférence était organisée en coopération avec l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement



économiques (AEN/OCDE), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'ONU (Département des affaires humanitaires), le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) et le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR).

Quelque 800 scientifiques et hauts fonctionnaires des domaines de l'énergie nucléaire, de la sûreté radiologique et de la médecine, ainsi que plus de 200 représentants des médias, y ont assisté. Parmi les participants figuraient des représentants de haut rang des trois pays les plus touchés par l'accident — le Bélarus, la Fédération de Russie et l'Ukraine — et des délégués de près de 90 Etats et organisations intergouvernementales.

Assistée par un bureau composé de scientifiques éminents, Mme Angela Merkel, ministre allemand de l'environnement, de la conservation de la nature et de la sûreté nucléaire, présidait la conférence. Un comité consultatif d'experts de haut niveau du Bélarus, de la Fédération de Russie et de l'Ukraine a suivi l'organisation et le déroulement des travaux.

La conférence comportait une série de séances où les experts ont examiné les conclusions des travaux exécutés à cette date, y compris les résultats de deux grandes conférences internationales, l'une réunie à Genève par l'OMS en novembre 1995 et l'autre à Minsk en mars 1996, patronnée par la CE. Elle a étudié les résultats de la réunion internationale sur la sûreté de la centrale de Tchernobyl organisée par l'AIEA et le Département des affaires humanitaires de l'ONU une semaine avant son ouverture. Des déclarations liminaires ont été faites par M. Hans Blix, directeur général de l'AIEA, M. Hiroshi Nakajima, directeur général de l'OMS, M. H. Tent, directeur général de la CE pour la science, la recherche et le développement, et M. Griffiths, directeur du Département des affaires humanitaires de l'ONU. MM. Alyksandr Lukashenko, président du Bélarus, A. Shoigu, ministre russe des secours, et Yevgeni Marchuk, premier ministre d'Ukraine, ont également pris la parole.

Au séminaire d'information, sept exposés d'orientation ont été faits par des représentants de l'AEN/OCDE, de la FAO, de l'UNESCO,



**Mme Merkel, ministre allemand de l'environnement et présidente de la conférence, s'entretient avec un collègue, tandis que la nombreuse assemblée délibère. (Photo: Pavlicek/AIEA)**

de l'UNSCEAR et de diverses organisations d'Allemagne, des Etats-Unis et du Japon sur les résultats des grands projets bilatéraux d'assistance entrepris après l'accident.

Le colloque technique comprenait huit séances thématiques sur diverses questions sociales, sanitaires et écologiques, notamment les effets observés lors d'examen cliniques, les effets sur la thyroïde, les effets sanitaires à long terme, et d'autres effets sanitaires, dont les conséquences psychologiques, le stress et l'anxiété, les conséquences pour l'environnement, l'impact social, économique, institutionnel et politique, les mesures correctives de sûreté nucléaire, les conséquences dans leur contexte et les pronostics. Pour chaque séance, des documents de référence avaient été préparés par des comités d'experts de haut niveau, notamment du Bélarus, de la Fédération de Russie et de l'Ukraine, nommés par le comité consultatif. A chaque séance, les rapporteurs présentaient les documents de référence pertinents et les mémoires scientifiques correspondants précédemment affichés. La discussion générale qui a suivi s'est avérée très stimulante et animée. Les conclusions de chaque séance ont été communiquées au bureau et résumées à la séance de clôture du colloque. Outre les débats en séance plénière, 181 mémoires scientifiques, ainsi que les diagrammes de 12 projets importants, ont été affichés. Le dernier jour, une table ronde assez contradictoire réunit des représentants des gouvernements, de la presse et de la science, lesquels ont parlé de la perception par le public des conséquences de l'accident et tenté de déterminer pourquoi elle diffère de celle des experts.

Le compte rendu de la conférence avec une synthèse des résultats est publié par l'AIEA. On peut aussi s'informer par le service World Atom de l'AIEA, sur Internet, à l'adresse <http://www.iaea.or.at/worldatom/thisweek/preview/chernobyl>.

M. Crick, du Département de la sûreté nucléaire de l'AIEA, était secrétaire scientifique de la conférence.

0,8 mSv de dose moyenne nationale maximale pour la première année; et 1,2 mSv d'engagement maximal de dose moyenne régionale en Europe pour les 70 ans d'ici à 2056. Le Projet international sur Tchernobyl (PIT) a calculé que la dose engagée maximale sur ces 70 années serait de l'ordre de 160 mSv pour les habitants des territoires les plus contaminés. De récentes études, plus approfondies, ont donné des résultats analogues.

### Effets sanitaires

#### *Effets observés lors d'examen cliniques.*

Un groupe de 237 personnes professionnellement exposées semblait présenter des syndromes cliniques imputables à une radioexposition; ils ont été hospitalisés. Un syndrome d'irradiation aiguë (SIA) a été diagnostiqué chez 134 patients, dont 28 sont morts des suites de radiolésions pendant les trois premiers mois. Deux autres personnes sont mortes sur les lieux de blessures sans rapport avec l'irradiation (et une troisième d'une thrombose coronaire, paraît-il).

Les troubles gastro-intestinaux, très inquiétants, provoquèrent très tôt des altérations létales de la fonction intestinale chez 11 patients qui avaient reçu des doses supérieures à 10 Gy. Sur les 28 patients décédés, 26 souffraient de lésions cutanées sur plus de 50 % de la surface du corps. La phase aiguë passée, 14 autres patients sont morts au cours des dix dernières années; leur décès ne correspond cependant pas à la gravité initiale du SIA et n'est pas nécessairement — parfois même aucunement — imputable à une radioexposition.

Les patients ont été traités le mieux possible selon les connaissances de l'époque, dans le centre le plus compétent qui existait. Toutefois, la thérapie par greffe de moelle osseuse alors recommandée n'a pas servi à grand-chose. On sait aujourd'hui pourquoi: risques immunologiques inhérents à cette procédure, caractère hétérogène de l'exposition, autres radiolésions aggravantes telles que dommages gastro-intestinaux irréparables ou lésions cutanées. La meilleure façon de soigner les lésions de la moelle osseuse à l'avenir consistera à administrer immédiatement des stimulants de l'hématopoïèse. Il reste à en déterminer la meilleure combinaison et le fractionnement optimal de la dose. Pour les autres radiolésions, de nouveaux moyens diagnostiques facilitent le pronostic et l'adaptation du traitement à chaque cas.

Actuellement, les patients les plus gravement touchés souffrent de maux multiples, notamment

de tensions mentales, et ont besoin de traitements curatifs et préventifs modernes contre les effets secondaires. Il faudrait leur assurer des soins médicaux et surveiller leur état de santé pendant les 20 ou 30 prochaines années. Il importerait de distinguer entre les cas imputables à la radioexposition et ceux liés à des facteurs perturbants inhérents à la population affectée par l'accident.

*Effets sur la thyroïde.* Une incidence accrue très significative de cancers de la thyroïde parmi les habitants des zones contaminées qui étaient enfants en 1986 est la seule preuve patente à ce jour de l'impact sanitaire de la radioexposition due à l'accident. (En 1991, le rapport du PIT précisait qu'il fallait s'attendre à un excédent de cancers radio-induits de la thyroïde au cours des décennies à venir, et que ce risque était dû aux doses à la thyroïde reçues pendant les premiers mois suivant l'accident ...\*) L'augmentation a été constatée au Bélarus et, dans une moindre mesure, en Fédération de Russie et en Ukraine. A la fin de 1995, on avait signalé environ 800 cas d'enfants âgés de moins de 15 ans au moment du diagnostic, dont plus de 400 au Bélarus. Pour la plupart, les diagnostics ont été confirmés par des experts internationaux.

L'augmentation a été observée parmi des enfants nés avant l'accident ou dans les six mois qui l'ont suivi. Parmi les enfants nés plus de six mois après l'accident, l'incidence décroît de façon spectaculaire jusqu'au faible niveau à prévoir parmi les populations non exposées. La plupart des cas de cancers sont groupés dans des zones supposées contaminées par les radio-iodes. La distribution aussi bien temporelle que géographique indique donc nettement un rapport entre la fréquence accrue du cancer et la radioexposition. Comme la thyroïde concentre l'iode, on présume que un ou plusieurs radio-isotopes de cet élément sont à l'origine de l'incidence accrue chez les enfants.

Les analyses de l'exposition selon l'âge confirment l'hypothèse que les très jeunes enfants sont les plus vulnérables. On considère aujourd'hui que l'incidence accrue persistera parmi les sujets exposés pendant leur première enfance et qu'elle exigera des ressources suffisantes pour y faire face.

En l'occurrence, la période minimale de latence entre l'exposition et le diagnostic serait de quatre ans

\* Voir *The International Chernobyl Project: Technical Report, Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures*, Partie F: Health Impact, Section 3.11.3, page 389, publié par l'AIEA (1991).

environ, c'est-à-dire un peu moins qu'on ne le prévoyait d'après l'expérience acquise avec l'exposition aiguë à un rayonnement externe.

A ce jour, parmi les enfants chez qui un cancer de la thyroïde avait été diagnostiqué, trois sont décédés. Ce type de cancer papillaire est agressif mais répond favorablement à une thérapie classique bien menée; toutefois, on ne dispose de données de suivi que sur de courtes périodes; il faut donc attendre pour optimiser la thérapie. Il est obligatoire, après une thyroïdectomie, d'administrer à vie de la L-thyroxine.

Il est difficile de prévoir l'incidence de tumeurs. Les estimations de dose sont encore incertaines et, bien qu'il ne soit pas sûr que l'augmentation actuelle se maintienne, elle durera probablement plusieurs décennies. Par ailleurs, si le haut risque relatif actuel persiste, la fréquence du carcinome thyroïdien augmentera considérablement au cours des prochaines décennies chez les adultes fortement irradiés pendant leur enfance.

En cas de nouvel accident, les mesures agréées devraient être prises dans des conditions strictement définies pour protéger les populations à risque d'une exposition au radio-iodé, notamment en interdisant la consommation d'aliments contaminés et en assurant une prophylaxie iodée par la distribution de doses pharmacologiques d'iode stable. Les populations vivant aux alentours de la centrale de Tchernobyl ont d'ailleurs de tout temps manqué d'iode et il est de toute façon recommandé de corriger cette carence par la consommation de sel iodé dans l'alimentation.

**Effets sanitaires à long terme.** Outre l'incidence accrue confirmée du cancer de la thyroïde chez les jeunes, une augmentation de la fréquence de tumeurs malignes spécifiques a été signalée parmi certaines populations des territoires contaminés et les liquidateurs. Or, les rapports ne sont pas cohérents et l'augmentation pourrait s'expliquer par des pratiques différentes de suivi ou un dépistage plus systématique; il faudrait y regarder de plus près.

La leucémie, normalement rare, devient un problème majeur après une radioexposition. Selon les modèles de prédiction (fondés sur les données relatives aux survivants japonais des bombardements atomiques et à d'autres groupes), on attend théoriquement peu de décès dus à la leucémie radio-induite. Les décès excédentaires probables seraient de l'ordre de 470 parmi les 7,1 millions de résidents des régions contaminées et des «zones strictement contrôlées», et il serait impossible de les distinguer des quelque 25 000 morts de leucémie spontanée. Parmi les 200 000 liquidateurs de 1986-1987, environ 200 décès seraient prévus contre 800 pour cause

de leucémie spontanée. D'après les modèles actuels, environ 150 de ces 200 décès excédentaires auraient normalement dû se produire dans les dix premières années après l'exposition, pendant lesquelles on a relevé une incidence spontanée de 40. En résumé, aucun indice cohérent d'augmentation n'a été détecté à ce jour, qu'il s'agisse de la leucémie ou de toute tumeur maligne autre que le carcinome thyroïdien.

Parmi les 7,1 millions de résidents mentionnés plus haut, on a calculé, à l'aide des modèles de prédiction, que le nombre de cancers mortels dus à l'accident serait de l'ordre de 6 600 pour les 85 prochaines années, contre 870 000 pour les cas spontanés. Les augmentations par rapport à l'incidence naturelle de tous les cancers, à l'exception de ceux de la thyroïde, ou des effets héréditaires parmi la population seront difficiles à distinguer, même après de longues études épidémiologiques bien menées, comme il est précisé dans le rapport sur le PIT.

Des fréquences accrues de divers effets sanitaires préjudiciables non spécifiques autres que le cancer ont été signalées parmi les populations exposées et les liquidateurs en particulier. Il est difficile d'interpréter ces conclusions car l'état de santé des populations exposées est suivi beaucoup plus intensivement et activement que celui de l'ensemble de la population. A supposer qu'elles soient avérées, ces augmentations pourraient résulter du stress et de l'anxiété.

Il conviendrait d'améliorer les statistiques existantes de la morbidité et de la mortalité dues au cancer, ou d'en établir le cas échéant, d'étudier spécialement les augmentations signalées, ainsi que les prédictions, en particulier de la leucémie parmi les liquidateurs, et de procéder selon des modalités uniformément appliquées pour analyser les facteurs de doute et éventuellement en distinguer les effets.

**Conséquences psychologiques.** Depuis dix ans, plusieurs études et programmes importants ont cherché à déterminer les effets sociaux et psychologiques de l'accident de Tchernobyl. Ils ont confirmé les conclusions antérieures, dont celles du PIT, à savoir l'existence chez les populations touchées par l'accident de symptômes et de troubles psychiques sérieux tels que l'anxiété, la dépression et diverses manifestations psychosomatiques dues au désarroi mental. Cela dit, il est extrêmement difficile de distinguer les troubles dus à l'accident de ceux qui résultent des difficultés économiques et de la dissolution de l'URSS.

Ces effets psychologiques sont attribuables au manque d'information, en particulier immédiatement après l'accident, au stress et au traumatisme de la réinstallation, à la rupture des liens sociaux et

à la crainte que toute radioexposition nuise à la santé des populations et à celle des enfants dans l'avenir. Il est compréhensible que des gens à qui l'on a caché la vérité pendant plusieurs années ne croient plus aux communiqués officiels et pensent que toutes sortes de maladies devenues plus fréquentes apparemment sont forcément dues à l'irradiation. Cette angoisse liée à une perception erronée des risques radiologiques fait beaucoup de mal.

La controverse sur les conséquences de l'accident et sa politisation sont responsables de ces effets psychologiques graves, généralisés et persistants parmi la population, et notamment du sentiment d'impuissance et du désespoir qui mènent au repli sur soi-même et au renoncement pour l'avenir. Ces effets se prolongent à cause du débat sans fin sur les risques radiologiques, les contre-mesures et la politique sociale générale, et de l'apparition de cancers de la thyroïde attribués aux premières radioexpositions.

Il est urgent de persuader chacun qu'il est capable de changer de vie pour le mieux, d'encourager les initiatives municipales visant à améliorer la situation locale et d'aider les organisations qui cherchent à remettre sur pied les populations, de mieux informer le public sur les effets sanitaires des rayonnements et la radioprotection, et de développer, coordonner et appuyer les groupes locaux — autorités, spécialistes et chercheurs — dans le domaine social et psychologique.

### Conséquences écologiques

Quant à la faune et à la flore, des doses létales ont atteint les écosystèmes radiosensibles (petits mammifères et conifères) dans un rayon de dix kilomètres autour de la centrale et pendant les premières semaines. Dès l'automne 1986, les débits de dose avaient diminué d'un facteur 100 et, en 1989, le milieu naturel de ces parages commençait à se rétablir. Aucun impact grave et continu sur les populations ou les écosystèmes n'a été observé. La possibilité d'effets génétiques à long terme et leur importance restent à étudier.

Pour les humains, les effets de la contamination du milieu dépendent des voies d'exposition. Les principales sont l'irradiation externe par les matières radioactives déposées sur le sol et l'irradiation interne par les aliments contaminés. Pendant quelques semaines après l'accident, les radio-iodes avaient l'impact radiologique le plus fort mais,

dès 1987, l'essentiel de la dose de rayonnement provenait du césium 134 et 137, avec une faible contribution du strontium 90, tandis que l'apport du plutonium 239 était minime.

Plusieurs denrées de consommation courante étaient radiocontaminées. Peu après l'accident, des aliments de base, tels le lait et les légumes verts, étaient contaminés au-delà des niveaux aujourd'hui jugés acceptables par le Codex Alimentarius de la FAO/OMS, spécifiés comme limites maximales de contamination autorisées pour les denrées alimentaires du commerce international. (Ces niveaux sont maintenant incorporés dans les Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements.) Quelques questions ont été soulevées au sujet de l'efficacité des mesures de contrôle appliquées dans les premiers temps après l'accident.

Les mesures correctives, relativement inefficaces pour réduire l'exposition externe, sont très efficaces pour freiner l'absorption de matières radioactives. A longue échéance, une action agricole judicieuse permet de réduire la contamination des denrées par le césium. Son efficacité dépend des conditions locales, notamment du type de sol. Par ailleurs, on a constaté, à certains endroits où le dépôt de césium était relativement faible, que le lait était néanmoins fortement contaminé. En général, aucun produit des fermes collectives n'excède aujourd'hui les limites fixées par la Codex Alimentarius, contrairement à quelques denrées produites par des agriculteurs privés.

L'environnement semi-naturel, dont les caractéristiques sont intermédiaires entre celles des terres cultivées et celles du milieu naturel, pourrait avoir une influence prédominante sur les niveaux futurs de dose aux populations humaines. Le transfert des radionucléides du sol au lait de vaches en pâture varie considérablement selon la nature du sol. Certains produits alimentaires provenant d'animaux qui paissent sur des pâturages semi-naturels, en forêt et en montagne, et certains produits sauvages (gibier, baies et champignons) resteront contaminés pendant des dizaines d'années par des concentrations de césium 137 qui excéderont — et parfois de beaucoup — les limites du Codex Alimentarius et seront probablement une source importante d'irradiation interne dans l'avenir.

Les débits de dose locaux dus aux matières radioactives enfouies sur le site de Tchernobyl peuvent aussi être importants. Pour gérer convenablement les dépôts provisoires de résidus radioactifs de l'accident, il faudra considérer la contamination possible des eaux souterraines locales à longue échéance.

### Impact social, économique, institutionnel et politique

Entre 1990 et la fin de 1995, les autorités ont décidé de poursuivre la réinstallation au Bélarus (107 000 personnes), en Fédération de Russie (50 000 personnes) et en Ukraine (53 000 personnes). L'évacuation et la réinstallation sont à l'origine de graves problèmes sociaux liés aux difficultés et aux tribulations de l'ajustement à de nouvelles conditions d'existence.

Les indicateurs démographiques dans les régions contaminées se sont aggravés: la natalité a diminué, et les travailleurs émigrent vers des régions non contaminées, d'où une pénurie de main d'œuvre et de professionnels.

Les mesures de contrôle imposées par les autorités pour limiter la radioexposition dans les territoires contaminés ont nuï aux activités agricoles et industrielles. De surcroît, l'attitude du public envers la production des régions contaminées entrave la vente ou l'exportation des produits, provoquant une baisse des revenus locaux.

Les restrictions des activités habituelles rendent la vie quotidienne difficile et éprouvante. De grandes opérations de remise en état ont été menées ces dernières années. Il faut néanmoins mieux informer le public sur les mesures prises pour atténuer les conséquences de l'accident, sur les niveaux actuels de rayonnements et sur les concentrations de radionucléides mesurées dans les produits alimentaires.

Les conditions sociales et économiques de ceux qui vivent et travaillent dans les régions contaminées sont largement tributaires des subsides publics. Si le système de compensation en vigueur devait être reconsidéré, il faudrait peut-être réserver des fonds pour de nouveaux projets agricoles et industriels.

Les conséquences de l'accident et les mesures prises pour y remédier, aggravées par les changements sociaux, économiques et politiques des dernières années, ont beaucoup nuï à la qualité de la vie, à la santé publique et à l'activité sociale. Dans les années qui ont suivi l'accident, les informations incomplètes et inexactes données au public ont compliqué la situation.

### La sûreté nucléaire et le sarcophage

L'accident de Tchernobyl est imputable à la coïncidence de graves insuffisances de conception du réacteur et du système de mise à l'arrêt, et au non-respect des instructions. Le manque de «culture de sûreté» au sein des organismes responsables de

l'Union soviétique entraîna l'incapacité de corriger ces faiblesses de conception déjà connues avant l'accident.

La conception initiale des RBMK (réacteurs soviétiques refroidis à eau légère et ralentis au graphite) présente d'autres défauts: en particulier, la sûreté de la première génération n'atteint pas les niveaux actuels et le confinement partiel exige un complément d'examen.

Une conception dynamique de la sûreté veut que toutes les centrales nucléaires dont le niveau de sûreté n'est pas internationalement acceptable devraient être améliorées ou mises à l'arrêt. En septembre 1991, la conférence sur la sûreté nucléaire: stratégies pour l'avenir, réunie par l'AIEA, a recommandé que les normes de sûreté des centrales anciennes en exploitation soient raisonnablement ajustées aux objectifs actuels de la sûreté. Il est de toute première importance que les responsables s'en occupent activement afin d'assurer un niveau acceptable de sûreté des installations nucléaires et de renforcer la confiance du public dans l'énergie nucléaire.

Bon nombre d'améliorations de la sûreté ont été apportées depuis une dizaine d'années dans les centrales équipées de réacteurs RBMK: des mesures techniques et d'organisation ont été prises immédiatement après la catastrophe et, pour l'essentiel, les défauts de conception liés à l'accident ont été corrigés entre 1987 et 1991. Des progrès ont été faits en matière de gestion de la centrale, de formation du personnel, d'essais non destructifs et d'analyse de la sûreté. Il s'ensuit qu'une répétition du même genre d'accident n'est pratiquement plus à craindre. Toutefois, la possibilité d'autres accidents avec rejets substantiels ne saurait être exclue.

Pour toutes les centrales équipées de RBMK, des améliorations de la sûreté sont prévues pour corriger les défauts de conception de ce type de réacteur qui ne sont pas directement liés à l'accident. Les travaux sont retardés plus qu'il ne faudrait car les pays concernés ne disposent pas de ressources suffisantes.

L'exécution rapide de ce qui a été jugé nécessaire et de ce que l'on a déjà planifié est une priorité absolue pour les programmes nucléaires nationaux et pour la coopération internationale: il faut apporter les améliorations indispensables de la sûreté, même si la centrale est prochainement déclassée, prévoir un complément de ressources pour relever le niveau de sûreté des RBMK en exploitation, et renforcer la position des services nationaux de réglementation et de leurs organismes de soutien.

Les ajustements prévus sur les autres RBMK ont été exécutés à la centrale de Tchernobyl. Toutefois, les problèmes de sûreté de ce type de réacteur sont



du non seulement aux défauts communs de conception, mais aussi à la qualité des matériels.

La décision des autorités ukrainiennes de mettre à l'arrêt les autres réacteurs de Tchernobyl n'est pas une raison pour négliger la sûreté alors qu'ils sont encore en exploitation.

**Le sarcophage.** Le sarcophage construit autour du réacteur détruit contient environ 200 tonnes de combustible irradié et neuf mélangé à d'autres matières sous diverses formes (surtout des poussières). L'activité de l'ensemble est estimée à  $700 \times 10^{15}$  Bq de radionucléides de longue période. La structure répond depuis dix ans aux impératifs de protection, mais il n'est pas certain qu'elle demeurera stable et étanche à longue échéance. Son effondrement pourrait provoquer le rejet de poussières radioactives et la radioexposition du personnel du site. On ne devrait cependant pas craindre d'effets de grande envergure (au-delà de 30 km), même dans le pire des cas.

Le sarcophage est sûr quant au risque de criticité. A l'intérieur, des configurations de masses de combustible pourraient atteindre l'état critique au contact de l'eau. Si ces conditions engendraient de hauts niveaux de rayonnement, on ne devrait pas s'attendre à d'importants rejets hors du site. Les conséquences possibles sur le personnel du site sont à étudier.

Les avis sont très partagés quant au risque d'accident à craindre pour l'unité 3 de Tchernobyl au cas où le sarcophage céderait. Ce problème mérite d'être examiné plus en détail.

La sûreté des réacteurs restants et la stabilité du sarcophage ne sont pas les seules grandes questions qui restent à résoudre à Tchernobyl. Les possibilités de contamination, en particulier par les matières radioactives enfouies sur le site, posent aussi un problème. Toutes ces questions sont interdépendantes et leur solution exige une approche intégrée. Le projet de construire une autre protection au-dessus du sarcophage devrait être inclus dans cette dernière. Les activités financées par la CE dans la région ont contribué à cette intégration qu'il conviendrait de généraliser, en veillant à ce que les connaissances techniques des organisations compétentes de l'ex-URSS soient mieux coordonnées. Il faut concevoir et mettre au point un dispositif qui puisse garantir que le sarcophage est écologiquement sûr.

Pour que l'opération soit rentable, les mesures seront prises en fonction du progrès des études et des conditions de financement. On devrait commencer par stabiliser le sarcophage afin de réduire sensiblement le risque d'effondrement et se donner le temps de planifier soigneusement la suite des opérations (par exemple, la seconde protection).

## Perspectives et pronostic

La régénération complète de la zone d'exclusion est actuellement impossible pour diverses raisons: l'existence de «points chauds» de contamination à proximité de zones résidentielles; l'éventualité d'une contamination radioactive locale des eaux souterraines; le risque associé à un effondrement du sarcophage; et les sérieuses restrictions imposées au régime alimentaire et au mode de vie.

Toutes les estimations de l'incidence totale des cancers mortels ou non imputables à l'accident devraient être interprétées avec prudence vu l'incertitude des hypothèses sur lesquelles elles sont fondées. Ces projections donnent cependant une idée de l'importance de l'impact à long terme et facilitent le choix des questions qui méritent une attention spéciale, tant aujourd'hui (telle l'incidence de la leucémie parmi les liquidateurs et des cancers de la thyroïde parmi les enfants des zones contaminées) que dans l'avenir.

On note un écart important entre le nombre de cancers de la thyroïde chez les sujets qui étaient enfants au moment de l'accident et les prévisions de l'incidence de ces cancers fondées sur la dosimétrie normale de la thyroïde et les modèles actuels de projection du risque. La différence est peut-être due à divers facteurs particuliers à l'accident qui ne sont pas nécessairement incorporés dans les modèles normalisés. Il importe d'élucider ces questions et de continuer le dépistage des tumeurs de la thyroïde.

L'incidence accrue des cancers de la thyroïde persistera fort probablement pendant plusieurs décennies. Les données actuelles ne permettent pas de faire des prédictions précises, mais les estimations du nombre de cas à prévoir parmi les sujets qui étaient enfants en 1986 sont de l'ordre de quelques milliers. Le nombre de décès sera bien inférieur si le diagnostic est précoce et le traitement bien mené. Ces personnes devront être surveillées de près pendant toute leur vie.

Malgré toutes les connaissances scientifiques et médicales dont on dispose dans ce domaine, maints aspects importants des effets des rayonnements sur la santé de l'être humain restent à élucider. Aussi faut-il continuer d'appuyer la recherche sur les effets biologiques de l'irradiation.

Divers facteurs, tels que les difficultés économiques, influent fortement sur la santé de la population, y compris celle des différents groupes exposés. Les statistiques relatives à ces derniers sont étudiées compte tenu de la nette augmentation de la morbidité et de la mortalité dans les pays de l'ex-Union soviétique, ce qui empêche de

mal interpréter ces tendances en les imputant à l'accident.

Il se peut que le public ait mal réagi à l'impact de l'accident à cause des difficultés socio-économiques que l'URSS connaissait à l'époque, des mesures prises par les autorités pour réparer les dégâts et de l'idée qu'il s'est faite des risques associés à la contamination radioactive persistante.

L'expérience acquise lors d'accidents sans effets radiologiques montre que l'état de choc psychologique peut durer longtemps. Les symptômes diminueront d'intensité avec le temps mais, dix ans après Tchernobyl, ils évoluent encore: le débat continu sur les risques radiologiques et les mesures correctives, auquel s'ajoute la constatation des effets des premières expositions (augmentation signifi-

cative des cancers de la thyroïde chez les enfants), les prolonge. L'anxiété et le stress mental imputables au démantèlement de l'URSS et à la situation sociale, économique et politique qui règne dans les trois pays seraient d'importantes composantes des suites de l'accident.

Les niveaux de rayonnements actuels dans la plupart des zones contaminées comportent peu de risques. L'effet négatif de la situation sociale, économique et psychologique risquerait de masquer le bénéfice des efforts qui seront faits pour réduire encore les doses au public. Il importe d'élaborer une stratégie qui tienne compte à la fois du risque radiologique réel et des problèmes sociaux et psychologiques afin d'obtenir le bilan le plus favorable pour l'être humain, et d'adoucir l'impact psychologique.