

AIEA BULLETIN



VOL.38, N°3
1996
VIENNE, AUTRICHE

REVUE TRIMESTRIELLE DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE

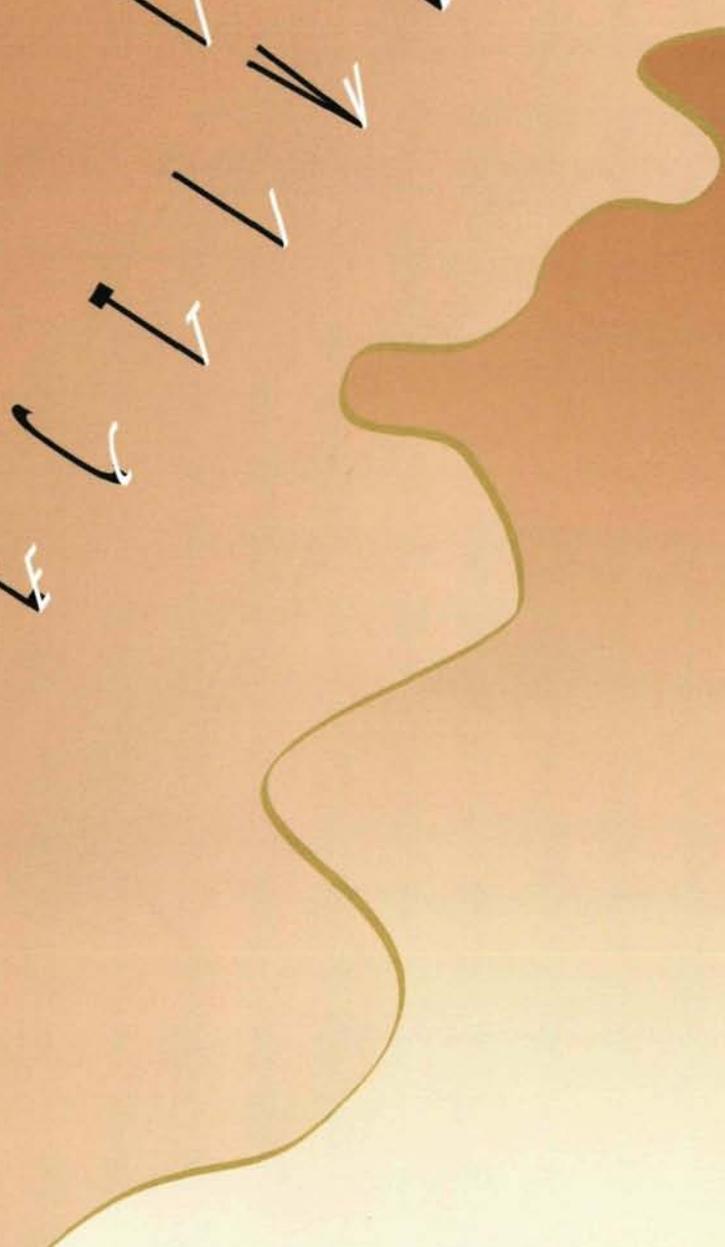
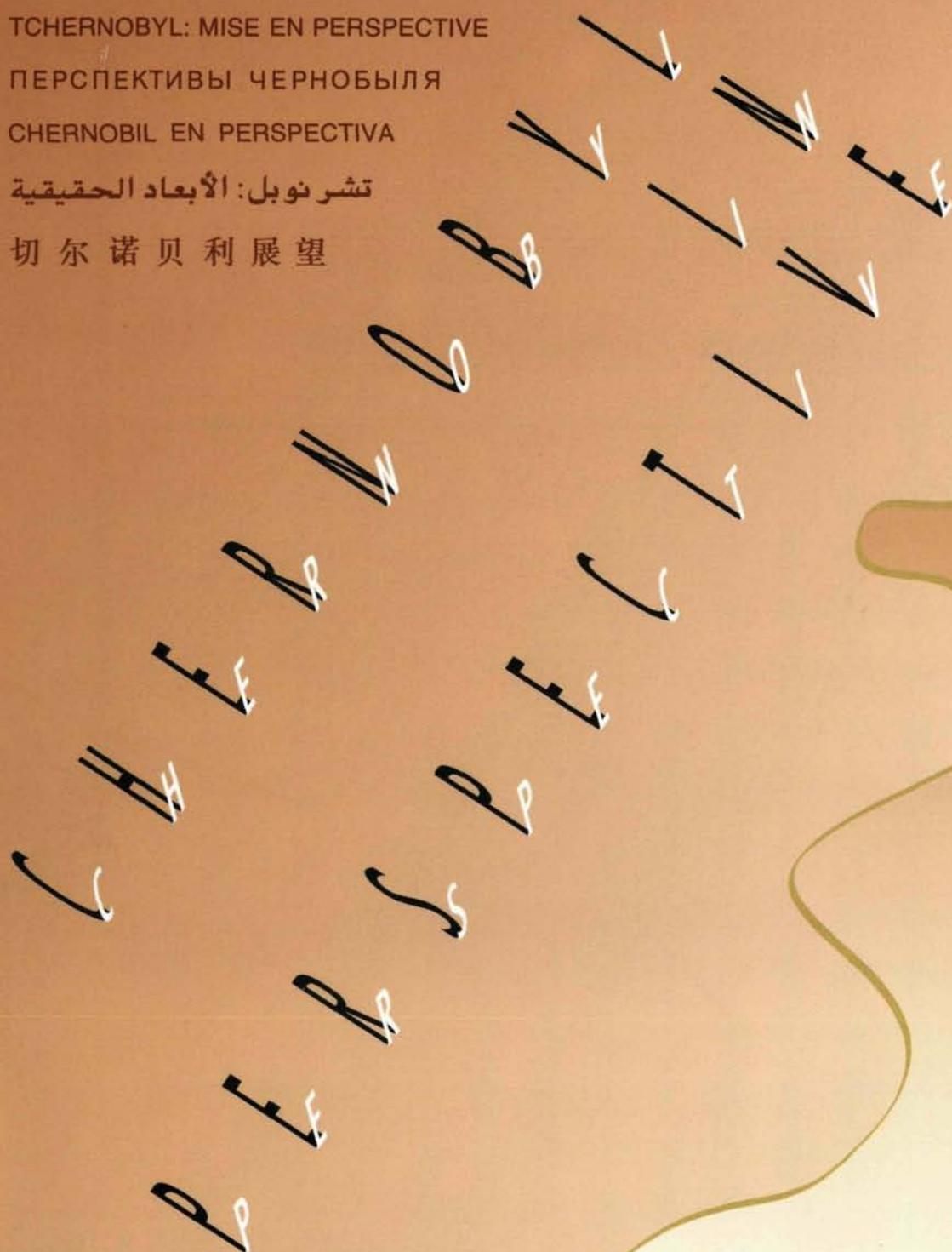
TCHERNOBYL: MISE EN PERSPECTIVE

ПЕРСПЕКТИВЫ ЧЕРНОБЫЛЯ

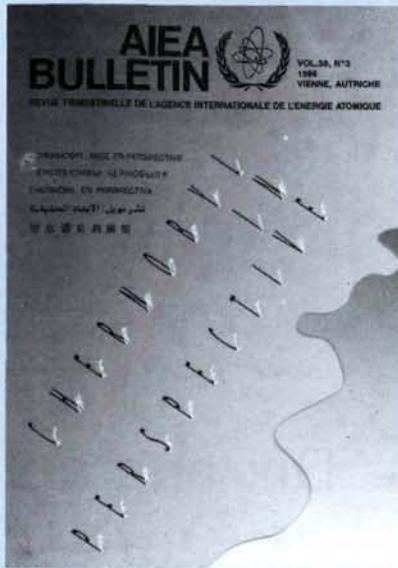
CHERNOBIL EN PERSPECTIVA

تشر نوبل: الأبعاد الحقيقية

切尔诺贝利展望







Page de couverture: Un peu plus de dix ans après la catastrophe nucléaire de Tchernobyl, que savons-nous objectivement de ses conséquences? Les réponses scientifiques et techniques couvrent un vaste et complexe domaine. Fort heureusement, à mesure que l'horizon se dégage et que les mythes éclatent, la réalité apparaît. Grâce à l'effort de tous, les effets réels de l'accident, ainsi que les besoins des victimes, se précisent. Tout n'est pas résolu, mais la Conférence internationale sur Tchernobyl, réunie à Vienne en avril dernier, a pu faire un bilan réaliste sur lequel fonder les décisions, celles en particulier qu'attendent les millions de citoyens, de villageois et de fermiers (hommes, femmes et enfants) qui vivent dans le besoin.

(Maquette: Hannelore Wilczek, AIEA; Stefan Brodek, Vienne)

Verso: Deux sourires de bienvenue pour les experts du Programme international sur Tchernobyl de 1990, une des nombreuses initiatives sans frontières vouées à l'étude des effets sociaux, sanitaires et écologiques de la tragédie dont souffrent plusieurs régions du Bélarus, de Fédération de Russie et d'Ukraine.

(Photo: Mouchkin, Pavlicek/AIEA)

SOMMAIRE

Perspectives Tchernobyl — Dix ans après
Abel J. González / 2

Deux lustres après Tchernobyl: fondements des décisions
Synthèse des résultats de la Conférence internationale sur Tchernobyl/ 14

Dossiers La démarche scientifique après Tchernobyl: les effets sociaux, sanitaires et écologiques
Conséquences pour l'environnement, rapport de Mona Dreicer et de Rudolf Alexakhin / 24

Effets sociaux et psychologiques, rapport de Britt-Marie Drottz-Sjöberg, G.M. Rumyantseva, A.I. Nyagu et L.A. Ageeva / 27

Effets observés lors d'examen cliniques, rapport de Gérard Wagemaker, Angelina K. Guskova, Vladimir G. Bebashko et Nina M. Griffiths / 29

Effets sur la thyroïde, rapport de E.D. Williams, A. Pinchera, E.P. Demidchik, S. Nagataki et N.D. Tronko / 31

Effets sanitaires, rapport de Fred A. Mettler / 33

Effets sanitaires à long terme, rapport de E. Cardis, A.E. Okeanov, V.K. Ivanov et A. Prisyazhniuk / 36

Mesures correctives agricoles, rapport de John I. Richards et Raymond J. Hance / 38

Questions de sûreté nucléaire, rapport de Luis Lederman / 44

Encart *Radiographie de la coopération technique: l'énergie nucléaire et l'environnement*

Rubriques Actualités internationales/Données statistiques / 48

Vacances de postes à l'AIEA / 56

Nouvelles publications de l'AIEA / 58

AIEA Bulletin 1995/Auteurs et collaborateurs / 60

Bases de données en ligne / 62

Colloques et séminaires organisés par l'AIEA/
Programmes de recherche coordonnée de l'AIEA / 64

Tchernobyl — Dix ans après

Des experts du monde entier précisent les faits et conséquences de l'accident de 1986

par
Abel J. González

Le 26 avril 1986 explose le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl, non loin du point où se rejoignent les frontières de l'Ukraine, du Bélarus et de la Russie. La catastrophe projette dans l'atmosphère d'énormes quantités de matières radioactives et devient le sujet de la plus longue controverse de l'ère technologique moderne. Les conséquences radiologiques de l'accident suscitent l'inquiétude générale et appellent l'attention sur le problème global de la sûreté nucléaire. Elles coïncident avec l'avènement de la glasnost et de la perestroïka en ex-Union soviétique et ne tardent pas à provoquer malentendus et appréhensions quant à leurs incidences réelles ou perçues.

Au début règnent le secret et la confusion, comme le note en toute objectivité le professeur Leonid Ilyin dans son ouvrage *Tchernobyl: mythes et réalités*. Les habitants des régions touchées par l'accident apprennent la nouvelle plus par oui-dire que par les communiqués officiels. Hors de l'URSS, l'accident est révélé par les mesures prises dans les pays nordiques qui détectent une augmentation insolite de la radioactivité ambiante. A ce manque initial de transparence qui ébranle la confiance du public s'ajoute une information confuse et parfois contradictoire. Les uns perçoivent l'événement comme le plus grand désastre qu'ait jamais connu le monde,

tandis que d'autres n'y voient qu'un problème sanitaire relativement circonscrit, malgré les circonstances tragiques.

Dix ans plus tard, en avril 1996, plus de 800 experts de 71 pays et de 20 organisations — sous l'œil de plus de 200 journalistes — se réunissent pour étudier les conséquences réelles et possibles de l'accident et les placer dans leur contexte objectif. La conférence internationale *Dix ans après Tchernobyl: récapitulation des conséquences de l'accident* se tient au Centre Austria de Vienne. Elle est un modèle de coopération internationale: six organisations de la famille des Nations Unies, dont l'AIEA, et deux organismes régionaux importants collaborent à son organisation (voir les encadrés pages 8 et 17).

Entre la catastrophe et la réunion de cette conférence, l'Agence prend part à une série d'activités scientifiques visant à quantifier les effets réels de l'événement (voir les encadrés pages 5, 6, 7 et 8).

La conférence a pour mandat de parvenir à un consensus international sur les conséquences de l'accident, de se mettre d'accord sur les faits scientifiques avérés, et d'élucider l'information et les pronostics pour mettre fin à la confusion. Les résultats se passent de commentaires (voir dans l'article suivant la synthèse de la conférence et le résumé de ses résultats). Nous ferons ici un bref exposé de quelques questions importantes examinées dans divers articles du présent numéro de notre *Bulletin*.

Retombées radioactives. Bien que l'on ne soit pas encore entièrement d'accord sur les quantités de matières radioactives rejetées par l'explosion du réacteur, les meilleures estimations — de l'ordre de 10^{19} becquerels (le becquerel est l'unité internationale d'activité) — rendent bien compte de l'ampleur de la catastrophe. Deux éléments chimiques présents

M. González est directeur de la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets, Département de la sûreté nucléaire, AIEA.

Rejet de matières radioactives dans l'environnement

Le réacteur sinistré a rejeté des quantités considérables de matières radioactives dans l'environnement: 10^{19} becquerels. Ces dernières contiennent de nombreux radioéléments, mais deux d'entre eux seulement — l'iode (à court terme) et le césium (à long terme) — sont importants du point de vue radiologique.

L'iode 131 (10^{18} becquerels rejetés) est absorbé par la thyroïde après inhalation ou consommation de denrées alimentaires contaminées, notamment de produits laitiers; son rayonnement bêta de faible portée irradie la glande de l'intérieur. Il est très facile de prévenir son absorption, par exemple en interdisant la consommation de denrées contaminées pendant quelques semaines jusqu'à ce que le rayonnement ait suffisamment décréu, ou en administrant à titre prophylactique de petites quantités d'iode stable pour bloquer la thyroïde.

Environ 10^{17} becquerels rejetés de radio-isotopes du césium sont retombés sur une vaste zone (voir la carte page 5). Il est difficile d'éviter la radioexposition. Une fois dans le sol, le césium contamine les denrées agricoles et les animaux en pâture, et son rayonnement gamma de longue portée atteint n'importe qui aux alentours. Le nettoyage des surfaces est malaisé et, en cas de forte concentration, la population doit être évacuée.

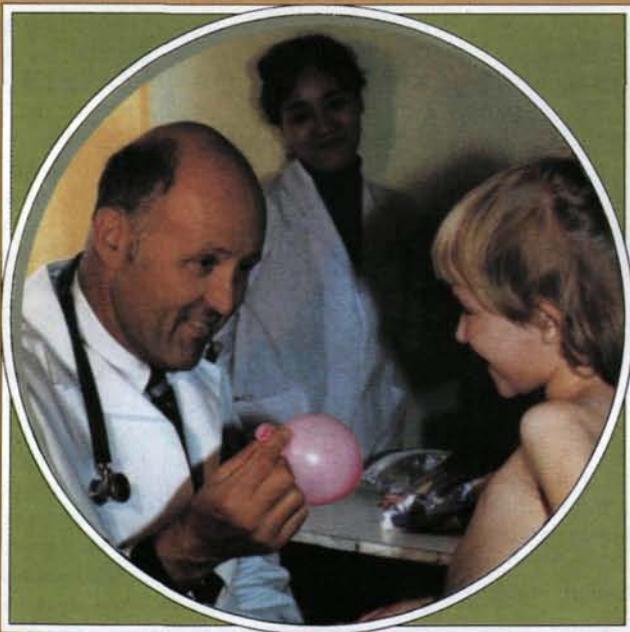
Au sujet de l'iode 131, on est mal renseigné sur sa destination, sur les sujets exposés et sur les doses reçues et il n'est pas sûr que l'on ait pu prévenir efficacement son absorption. Des estimations indirectes indiquent nettement que certains groupes ont reçu des doses très élevées. Les enfants, particulièrement sensibles du fait qu'ils absorbent normalement beaucoup de produits laitiers et que leur thyroïde est peu développée, ont reçu les plus fortes doses.

Le Projet international sur Tchernobyl (voir l'encadré page 7) a prédit en 1990 que les fortes doses se traduiraient après quelques années par une augmentation significative de l'incidence du cancer de la thyroïde, par ailleurs relativement rare, parmi les enfants exposés.

Couverture de l'édition russe d'une brochure décrivant le Projet international sur Tchernobyl, exécuté par des équipes de scientifiques internationaux en 1990 et 1991.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ПРОЕКТ

ЭКСПЕРТИЗА РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ
И ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ
ИТОГОВАЯ БРОШЮРА



dans le nuage radioactif dominant le tableau des effets radiologiques: l'iode et le césium. Le radio-isotope le plus important de l'iode est l'iode 131, dont l'activité diminue de moitié tous les huit jours. Les radio-iodes, généralement de courte période, sont essentiellement à l'origine de l'irradiation de la thyroïde, peu de temps après l'accident, parmi

les populations des régions voisines. Le radio-isotope le plus important du césium est le césium 137, dont la période est de 30 ans. Ce radionucléide a fait un voyage au long cours dans l'atmosphère et s'est déposé irrégulièrement sur de vastes territoires, surtout en Europe et, en moindres quantités néanmoins mesurables, dans d'autres secteurs de tout

Effets directs des rayonnements sur le milieu naturel

Pendant les premières semaines après l'accident et dans un rayon de quelques kilomètres autour du réacteur, la faune et la flore locales, notamment les campagnols et les conifères, ont reçu des doses létales. Dès l'automne 1986, les débits de dose diminuent d'un facteur 100 et, en 1989, les écosystèmes se reconstituent. Aucun impact grave et durable sur les populations animales ou les écosystèmes n'a pu être constaté. Il reste à étudier les effets génétiques possibles à long terme et leur importance.



l'hémisphère Nord. Ses retombées sont la principale source de radioexposition de l'organisme entier à long terme (voir l'encadré ci-dessus et la carte de la page 5).

Doses de rayonnements. Les matières radioactives rejetées devaient avoir de graves effets directs sur les personnes et sur les écosystèmes à l'intérieur et à proximité du site de la centrale. Le dommage radio-induit est fonction de la dose de rayonnements reçue par l'être humain et le biote, laquelle est à son tour fonction de la quantité d'énergie absorbée par les matières biologiques exposées. L'unité de dose à l'être humain est le sievert et, plus communément, son sous-multiple le millisievert (mSv). A titre de comparaison, la dose annuelle moyenne à l'être humain due au fond naturel de rayonnement est de 2,4 mSv. Bon nombre d'employés de la centrale et de membres des équipes d'intervention après l'accident (les liquidateurs) ont reçu de fortes doses atteignant parfois des milliers de mSv et présenté le syndrome clinique de l'irradiation. Vingt-huit d'entre eux sont morts des suites de

leurs radiolésions. Plus de 100 000 habitants évacués des zones contaminées et ceux qui sont demeurés dans les régions moins touchées ont reçu, ou recevront, des doses à l'organisme entier relativement faibles: celles qu'ils recevront pendant toute leur vie seront comparables ou inférieures aux doses viagères qu'ils recevraient des sources naturelles de rayonnements (voir l'encadré page 11). Font exception les doses à la thyroïde, qui ont dû être très élevées, en particulier chez les enfants, et les doses aux écosystèmes locaux.

Domages à l'environnement. Des doses létales ont atteint des écosystèmes radiosensibles, dans un rayon de quelques kilomètres autour de l'accident, en particulier parmi les campagnols et les conifères. Les doses ont diminué considérablement en quelques mois et les écosystèmes se sont finalement rétablis. Jusqu'à présent, aucun effet grave et durable sur l'environnement n'a été observé (voir l'encadré ci-contre). Un rapport de M. Dreicer et R. Alexakhin décrit plus en détail les effets écologiques de l'accident (page 24).

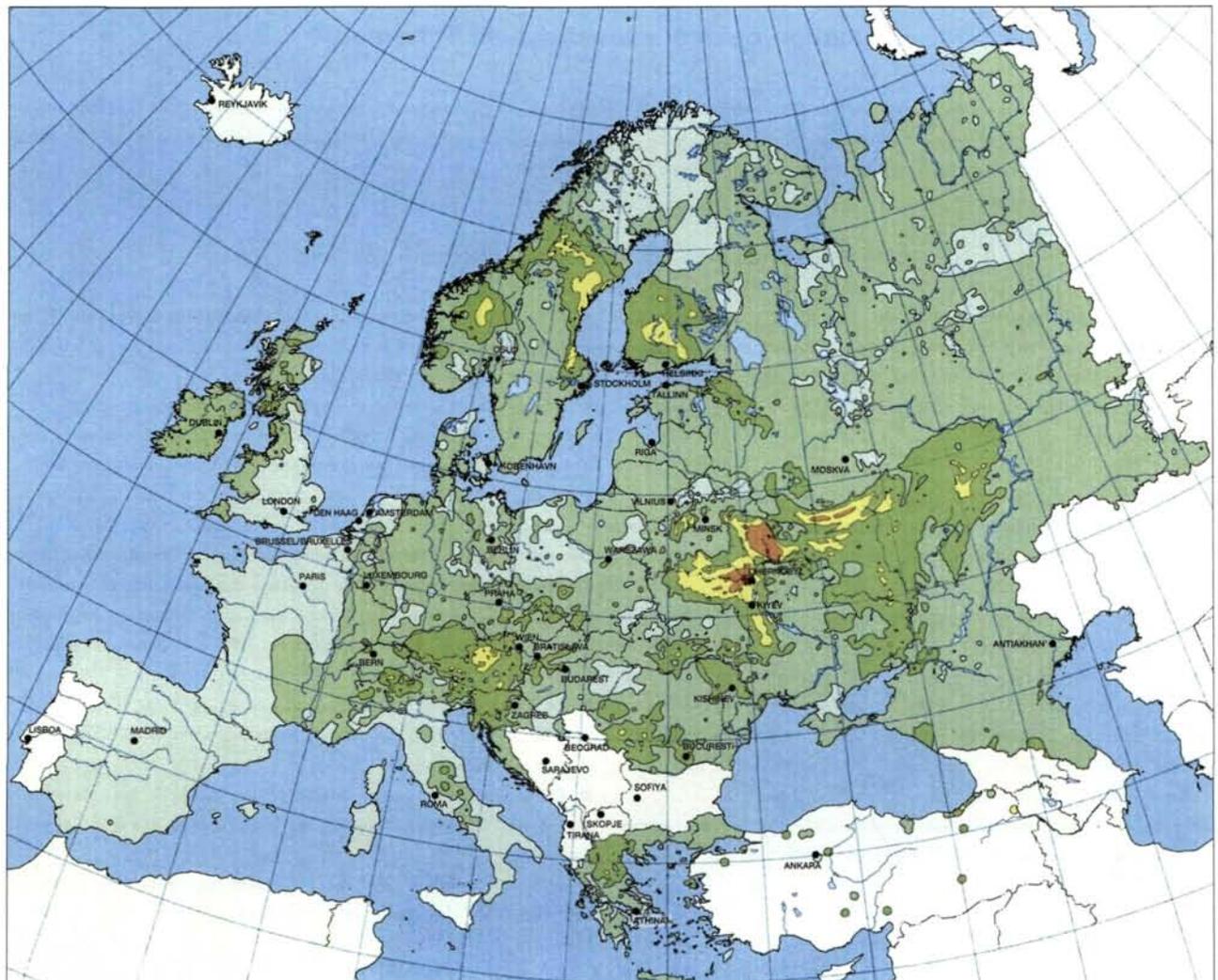
La contamination de l'environnement a pour effet secondaire celle des denrées alimentaires produites dans les secteurs touchés. Pendant quelque temps après l'accident, les niveaux d'activité des denrées de base excèdent les limites autorisées par le Codex Alimentarius*, mais aucune denrée provenant actuellement des fermes collectives ne dépasse ces limites. En revanche, les produits de la faune et de la flore sauvages — gibier, baies et champignons, etc. — provenant des forêts des zones les plus contaminées, ainsi que les poissons de certains lacs européens dépassent toujours les niveaux fixés par le Codex. Les mesures prises sur le plan agricole sont un volet important de la décontamination de l'habitat humain et font l'objet du rapport de J. Richards et R. Hance (page 38).

Effets sanitaires. Ils ont inquiété le plus le public, les décideurs et les autorités politiques; la conférence sur Tchernobyl leur a consacré beaucoup de temps. Les effets observés lors d'examens cliniques (et individuellement attribuables) ont été étudiés indépendamment des effets à long terme que l'on ne peut imputer aux rayonnements qu'après des études épidémiologiques statistiques approfondies sur des populations nombreuses** (voir l'encadré page 10). Parmi ces derniers, les effets sur la thyroïde sont un cas spécial, traité séparément.

suite page 9

* Le Codex Alimentarius, œuvre de la FAO et de l'OMS, fixe les limites de radioactivité autorisées pour les denrées alimentaires du commerce international.

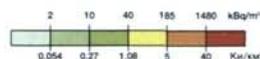
** Voir l'article de l'auteur intitulé «Effets biologiques des faibles doses de rayonnements ionisants: On en sait plus» dans le Bulletin de l'AIEA, volume 36, n° 4 (décembre 1994).



Projection Lambert Azimutal

© EC/IGCE, Roshydromet/Mnchernobyl (IAI)/Belhydromet, 1996

Dépôt total de césium 137 normalisé au 10 mai 1986.



Données absentes

Carte préliminaire du dépôt total de césium 137 extraite de l'Atlas du dépôt de césium en Europe après l'accident de Tchernobyl, rapport EUR 16733, Bureau des publications de la CE, Luxembourg (1996).

Dépôt total de césium sur l'Europe

Les matières radioactives rejetées par l'accident de Tchernobyl sont retombées sur de vastes territoires. L'activité déposée, facilement mesurable, apparaît sur les cartes de la contamination: celle qui est reproduite ci-dessus fut présentée à la conférence. Pour les scientifiques, ces cartes représentent clairement l'activité mesurable. En revanche, pour le grand public, elles indiquent des zones contaminées et, par conséquent, dangereuses. A l'aide de radiamètres sensibles, les scientifiques sont en mesure de relever de très faibles niveaux d'activité et de couvrir de très vastes étendues. Des niveaux négligeables signifient contamination sur des cartes de l'ex-URSS. A la lecture de ces dernières, quelques années après l'accident, le public s'est inquiété. Pourtant, les doses de rayonnements dues aux dépôts sur des milliers de kilomètres carrés contaminés sont inférieures au fond naturel de rayonnement de nombreuses régions du monde.

Evaluation des conséquences de Tchernobyl

Au cours des dix dernières années, maintes activités internationales ont contribué à l'évaluation des conséquences de l'accident de Tchernobyl. Elles sont classées en deux périodes: avant le *Projet international sur Tchernobyl* de 1990, qui a présenté un exposé complet de l'accident, et après le *Projet* jusqu'à la conférence internationale sur Tchernobyl d'avril 1996.

1986-1989: Premières constatations — Collecte des faits

Août 1986: Réunion d'analyse de l'accident. De nombreux participants ont assisté à cette réunion organisée par l'AIEA quelques mois après l'accident. Les résultats ont fait l'objet d'un rapport du Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire (INSAG) récemment créé¹.

Ce rapport étudie les causes de l'accident et présente les estimations soviétiques préliminaires de la quantité de matières radioactives rejetées par le réacteur sinistré. Il fait un premier bilan limité mais important des conséquences radiologiques:

- Environ 300 membres du personnel du site ont été hospitalisés pour radiolésions et brûlures.
- 135 000 personnes ont été évacuées: leur dose collective d'irradiation externe est estimée à $1,6 \times 10^4$ homme-sieverts (h-Sv).
- Les doses à la thyroïde, estimées pour la plupart à moins de 300 millisieverts (mSv), atteignaient néanmoins 2 500 mSv chez certains enfants.
- Une estimation pessimiste de la dose collective à long terme à la population indique 2×10^6 h-Sv, une estimation plus réaliste, 2×10^5 h-Sv.

Divers calculs des effets sanitaires potentiels à long terme ont été faits et les chances de détecter ces derniers par l'étude épidémiologique sont très limitées: certains effets, par exemple des néoplasmes bénins et malins de la thyroïde, ne pourraient être décelés que dans les cohortes ayant reçu d'assez fortes doses.

Mai 1988: Conférence de Kiev. Deux ans plus tard, la communauté scientifique internationale a pour la deuxième fois l'occasion d'examiner les conséquences radiologiques lors de la conférence scientifique internationale sur les aspects médicaux de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl, réunie à Kiev en mai 1988 par les autorités soviétiques en collaboration avec l'AIEA. (Une version non corrigée du compte rendu de la conférence a été publiée par l'AIEA sans indication de prix, avec un rapport résumant l'information présentée à la conférence²).

Cette information porte sur diverses questions:

- Le nombre précis des radiolésions cliniquement diagnostiquées: 238 personnes professionnellement exposées présentaient des signes évidents de syndromes d'irradiation (le nombre de diagnostics positifs est finalement moindre); 28 d'entre elles sont décédées, et deux autres ont été tuées par l'explosion du réacteur (une troisième a été victime d'une thrombose coronaire).

- Les rejets de matières nucléaires ont contaminé de vastes superficies, en certains points jusqu'à 30×10^5 Bq/m² (80 Ci/km²) et le lait a été contaminé jusqu'à 20 000 Bq/L.

- L'engagement de dose collective dans l'ex-Union soviétique était estimé à 226 000 h-Sv, dont 30 % pendant la première année, avec des doses à l'organisme entier atteignant 50 mSv dans le même temps.

- Il est confirmé que les doses à la thyroïde atteignaient 2 500 mSv.

Décembre 1988: Evaluation mondiale par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR). Le Comité a fait une évaluation exhaustive de l'impact hors de l'URSS. Dans son rapport de 1988 à l'Assemblée générale des Nations Unies, il propose les estimations suivantes:

- La dose nationale moyenne la plus élevée pour la première année était de 0,7 mSv (soit un tiers de la moyenne mondiale d'exposition au rayonnement naturel).

- L'engagement moyen de dose régionale totale le plus élevé était de 1,2 mSv (soit 1/30 de la dose moyenne viagère due à des sources naturelles).

- L'impact mondial total de l'accident de Tchernobyl était de 600 000 h-Sv, équivalant en moyenne à 21 jours supplémentaires d'exposition mondiale au fond naturel de rayonnement.

Mai 1989: L'étendue des conséquences se précise — Réunion ad hoc à l'AIEA. Trois ans après l'accident, les scientifiques obtiennent un bilan plus complet des conséquences de l'accident lors d'une réunion ad hoc officielle organisée par le Secrétariat de l'AIEA en mai 1989, à l'occasion de la 38^{ème} session de l'UNSCEAR. Plus de 100 scientifiques de 20 pays assistent à cette réunion dont le rapport est présenté ultérieurement à un colloque sur les opérations de remise en état après un accident³. Les renseignements fournis par les experts soviétiques présents à la réunion précisent la situation à long terme:

- Les cartes de la contamination consultables à l'échelon international indiquent une radioactivité supérieure à $5,5 \times 10^5$ Bq/m² (15 Ci/km²) sur 10 000 km².

- 786 agglomérations peuplées de 272 800 habitants se situaient dans des zones strictement contrôlées, où ces derniers étaient censés recevoir une dose collective de 13 900 h-Sv jusqu'en janvier 1990, certains risquant d'être exposés à plus de 170 mSv.

- La communauté internationale a été informée des critères d'intervention fixés par les autorités soviétiques — 350 mSv voyageurs — lesquels devaient finalement donner lieu à une vive controverse.

1990-1991: Bilan plus complet — Le Projet international sur Tchernobyl

Mars 1990-mai 1991: Evaluations sur place par des experts — Faits nouveaux. En octobre 1989, l'URSS demande officiellement à l'AIEA de coordonner une «évaluation par des experts internationaux» du concept qu'elle a élaboré pour permettre à la population de vivre sans risque dans des zones radiocontaminées résultant de l'accident et de juger de l'efficacité des mesures prises dans ces régions pour protéger la santé des habitants.

La réponse a été le *Projet international sur Tchernobyl (PIT)*, lancé au début de 1990⁴. Il traite quatre grandes questions intéressant la population et les dirigeants: l'étendue de la contamination des régions habitées; les prévisions de la radioexposition de la population; les effets sanitaires observés et potentiels; et l'efficacité des mesures prises au moment du PIT pour protéger le public. Les conclusions et recommandations sont approuvées par le *Comité consultatif international du PIT* le 22 mars 1991, et présentées pour examen à une conférence internationale réunie à Vienne du 21 au 24 mai 1991. Elles sont publiées par l'AIEA et se résument comme suit:

- *Les niveaux de contamination superficielle signalés sur les cartes disponibles à l'époque ont été confirmés: 25 000 km² ont été déclarés contaminés par des concentrations au sol de césium supérieures à $1,85 \times 10^5$ Bq/m² (5 Ci/km²), dont environ 14 600 km² au Bélarus, 8 100 km² en Russie et 2 100 km² en Ukraine.*

- *Les doses de rayonnements à l'organisme entier à prévoir pour toute la durée de la vie ont été jugées inférieures à 160 mSv, soit deux ou trois fois moins que les prévisions initiales; les doses à la thyroïde effectivement reçues n'ont pu être confirmées.*

- *Des problèmes de santé assez graves mais sans rapport avec l'irradiation et des troubles psychiques tels que le stress et l'anxiété ont été constatés parmi la population, mais aucune de ces affections n'a été directement imputée à une radioexposition, sauf chez les travailleurs fortement exposés. Comme on s'y attendait, aucune augmentation de*

l'incidence des leucémies ou des cancers n'a été mise en évidence au moment du PIT et il sera difficile de discerner dans l'avenir l'augmentation possible des affections malignes autres que les cancers de la thyroïde.

- *Les conclusions générales sur la situation sanitaire ont été complétées par diverses considérations plus détaillées, dont certaines concernent les néoplasmes, et plus spécialement l'incidence accrue des cancers signalée à l'époque et son augmentation possible dans l'avenir, notamment:*

- *Les statistiques soviétiques indiquaient que le nombre de cas de cancers signalés augmentait depuis dix ans et continuait d'augmenter au même rythme depuis l'accident. Les experts du PIT ont toutefois pensé que tous les cas n'avaient pas été signalés dans le passé et n'ont pu déterminer si l'augmentation était réelle ou due à des différences de méthodologie, à une amélioration du dépistage et du diagnostic ou à d'autres causes.*

- *Il serait difficile, à partir des estimations de doses du PIT et des évaluations couramment acceptées du risque d'irradiation, de distinguer les cas nouveaux par rapport à l'incidence naturelle des cancers spontanés et hérités, même au prix de longues études épidémiologiques bien conçues; en revanche, d'après les estimations de la dose absorbée par la thyroïde chez les enfants, il est possible de prévoir une augmentation éventuelle statistiquement détectable de l'incidence du cancer dans l'avenir.*

- *Les mesures de protection appliquées au moment du PIT ou prévues à longue échéance, telles certaines réinstallations et restrictions alimentaires, ont été jugées plus radicales qu'il ne serait nécessaire à des fins de radioprotection.*

Le PIT a recommandé plusieurs mesures complémentaires, dont la continuation des évaluations épidémiologiques et l'intensification des soins médicaux, en particulier pour certaines «populations à haut risque».

Notes pour les pages 6 et 7:

¹ Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire. Rapport récapitulatif sur la réunion d'analyse de l'accident de Tchernobyl, Collection Sécurité n° 75-INSAG-1; AIEA; Vienne (1986).

² Voir IAEA-TECDOC-516, *Medical Aspects of the Chernobyl Accident, Proceedings of an All-Union Conference*; et «The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident», par L.V. Konstantinov et A.J. González, *Nuclear Safety*, vol. 30, n° 1 (janvier-mars 1989).

³ Colloque international sur les opérations de rétablissement des conditions normales en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique. Voir «Recovery Operations after the Chernobyl Accident: The Intervention Criteria of the USSR's National Commission on Radiation Protection», par A.J. González, dans le compte rendu du colloque IAEA-SM-316/57, page 313.

⁴ Le PIT était patronné par la Commission européenne, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'Organisation internationale du Travail, l'Organisation météorologique mondiale, l'Organisation mondiale de la santé, l'AIEA et l'UNSCEAR. Un comité consultatif international indépendant de 19 membres a été créé et placé sous la présidence de M. Itsuzo Shigematsu, directeur de la fondation pour la recherche sur les effets des rayonnements à Hiroshima, qui ne cesse depuis 1950 de surveiller et d'examiner l'état de santé des survivants de la bombe atomique qui constituent la population la plus nombreuse jamais exposée à de fortes doses de rayonnements. Les autres scientifiques membres du comité venaient de dix pays et de cinq organisations internationales. Entre autres disciplines étaient représentées la médecine, la radiopathologie, la radioprotection, la radioépidémiologie et la psychologie. Le PIT a connu sa période la plus active entre mai 1990 et la fin de l'année. Environ 200 experts de 23 pays et de sept organisations internationales y ont participé et 50 missions scientifiques se sont rendues en URSS. Des laboratoires de plusieurs pays, dont l'Autriche, les Etats-Unis et la France, ont contribué à l'analyse et à l'évaluation des matières prélevées.

1991-1996: Etudes coopératives complémentaires — Le tableau s'éclaire

De nombreuses initiatives internationales ont pris la relève du PIT; en voici l'essentiel:

Activités de suivi de l'AIEA. L'AIEA et la FAO ont patronné un projet de contremesures agricoles⁵ et l'AIEA a organisé de nouvelles évaluations de l'environnement en collaboration avec l'Institut de protection et de sûreté nucléaires (IPSN, France)⁶.

Programme international de l'OMS sur les effets sanitaires de l'accident de Tchernobyl. Les résultats ont été publiés récemment et examinés par la conférence internationale de l'OMS sur les conséquences de Tchernobyl et d'autres accidents radiologiques pour la santé, réunie à Genève du 20 au 23 novembre 1995. Le programme confirme dans l'ensemble les conclusions du PIT et fournit un complément d'informations sur l'incidence accrue du cancer de la thyroïde chez les enfants.

Voici l'essentiel des conclusions:

- *Effets psychosociaux, jugés sans rapport avec la radioexposition: ils résultaient du manque d'information immédiatement après l'accident, du stress et du traumatisme de la réinstallation obligatoire dans des zones moins contaminées, de la rupture des relations sociales et de la crainte que la radioexposition ne nuise à la santé dans l'avenir.*
- *Forte augmentation du cancer de la thyroïde, en particulier parmi les enfants des zones contaminées: à la fin de 1994, ce cancer était diagnostiqué chez 565 enfants âgés de 0 à 14 ans (333 au Bélarus, 24 en Fédération de Russie et 208 en Ukraine).*
- *Aucune augmentation sensible de l'incidence de la leucémie ou autres hémopathies.*

- *Indices d'arriération mentale et perturbations de comportement et d'émotivité chez un petit nombre d'enfants radioexposés in utero: on ne peut préciser dans quelle mesure les rayonnements auraient contribué à ces troubles, car on ne dispose pas de données dosimétriques individuelles.*

- *Types et distribution des affections buccales observées parmi les habitants des zones contaminées: ils sont les mêmes que chez les habitants des zones non contaminées.*

Projets financés par la Commission européenne (CE). La CE a financé de nombreux projets de recherche scientifique sur les conséquences de Tchernobyl, dont les résultats ont été résumés à la première conférence internationale de l'Union européenne, du Bélarus, de la Fédération de Russie et de l'Ukraine sur les conséquences de l'accident de Tchernobyl, réunie à Minsk du 18 au 22 mars 1996. Ces projets donnent de précieux renseignements qui serviront à planifier les secours, à évaluer les doses et à régénérer l'environnement, à traiter les personnes fortement exposées et à dépister le cancer de la thyroïde chez les enfants.

Autres initiatives. Signalons les études appuyées par l'UNESCO, notamment sur les conséquences psychologiques, les rapports spéciaux de l'UNSCEAR et de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE), les études indépendantes faites dans les pays touchés et ailleurs, par exemple le contrôle radiologique général des populations exposées effectué par l'Allemagne, l'étude approfondie financée par la Fondation Sasakawa (Japon), un grand projet des Etats-Unis et l'évaluation de l'absorption de césium 137 faite par Cuba sur quelque 15 000 enfants.

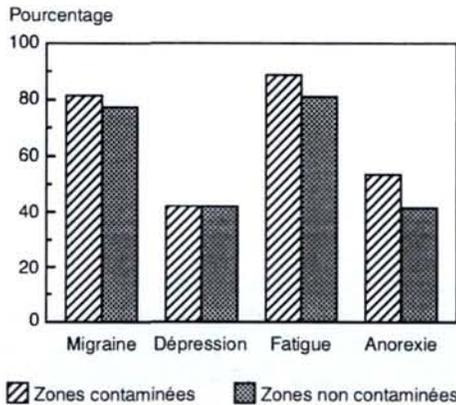
Avril 1996: Conférence internationale «Dix ans après Tchernobyl: récapitulation des conséquences de l'accident». Les principales organisations qui s'occupent de l'évaluation des conséquences de l'accident — l'AIEA, la CE et l'OMS — se sont jointes pour parrainer cette récente conférence qu'elles ont organisée en coopération avec l'AEN/OCDE, la FAO, l'ONU (Département des affaires humanitaires), l'UNESCO et l'UNSCEAR, conférence à laquelle ont assisté 845 scientifiques de 71 pays et de 20 organisations, ainsi que 280 journalistes. Elle était présidée par le Ministre allemand de l'environnement, de la conservation de la nature et de la sûreté nucléaire, et l'on comptait parmi l'assistance des hauts fonctionnaires et des membres des gouvernements, dont le Président du Bélarus, le Premier Ministre ukrainien, le Ministre russe de la protection civile, des secours et de l'élimination des conséquences des catastrophes naturelles, et le Ministre français de l'environnement. Trois rapports nationaux, quatre allocutions d'organisations intergouvernementales, 11 exposés d'orientation, huit documents scientifiques de référence, 181 mémoires affichés et 12 panneaux techniques ont servi à récapituler les conséquences de l'accident.

⁵ Le «projet Bleu de Prusse» visant à réduire la contamination du lait et de la viande en ajoutant des composés du bleu de Prusse à l'alimentation des ruminants. Il était essentiellement financé par l'AIEA et par la Norvège, dont les spécialistes avaient mis au point la méthode, et devait s'avérer à la longue le plus rentable de tous les projets qui ont fait suite au PIT. Un investissement annuel de 50 000 dollars par le Bélarus a permis de récupérer 30 millions de dollars de lait et de viande chaque année.

⁶ Suite à une demande spécifique du Bélarus lors de la Conférence générale de 1994, l'AIEA a lancé un projet essentiellement écologique sur l'avenir de la zone contaminée, en grande partie financé par l'IPSN qui a participé très activement à son exécution technique avec des scientifiques des régions touchées. Certaines conclusions vont au-delà de celles du PIT et concernent l'environnement en général. Au sujet de la biocénose, communauté écologique signalée comme ayant le plus souffert de l'accident de Tchernobyl, le projet a conclu que la radiocontamination n'était pas massive et touchait surtout les forêts de pins. Leur destruction, bien que considérable à proximité immédiate de la centrale, représentait moins de 0.5% de la superficie boisée de la zone d'exclusion.

Symptômes sans rapport avec l'irradiation

Une enquête parmi la population sur les symptômes sans rapport avec l'irradiation a été faite dans les zones qui ont directement souffert de l'accident (zones contaminées) et dans les zones témoins des régions non contaminées. Les résultats présentés à la conférence internationale montrent, d'une part, que la fréquence de ces symptômes est étonnamment élevée et, d'autre part, qu'elle n'est pas nettement liée à la résidence dans une zone contaminée ou non. Ces effets peuvent être imputés aussi bien à l'accident qu'aux difficultés économiques et à la perturbation sociale dans la région.



Effets observés lors d'examen cliniques. Compte tenu de l'ampleur de l'accident, le nombre de personnes qui ont subi ces effets est relativement modeste. Au total, 237 membres des équipes d'intervention qui semblaient présenter des syndromes cliniques de radioexposition ont été hospitalisés; chez 134 d'entre eux, des *syndromes d'irradiation aiguë* ont été diagnostiqués. Parmi eux, 28 sont décédés des suites de radiolésions (trois autres sont morts au moment de l'accident: deux sous l'effet de l'explosion et un de thrombose coronaire) (voir le graphique page 10). Quatorze nouveaux décès dans ce groupe, quelques années après l'accident, n'étaient pas nécessairement dus à une radioexposition. Le rapport de G. Wagemaker et ses collaborateurs (page 29) décrit plus en détail les effets observés lors d'examen cliniques.

Cancer de la thyroïde. Il est normalement rare et peut avoir d'autres causes que l'irradiation. Mais, à la fin de 1995, plus de 800 cas ont été signalés chez les enfants, la plupart au Bélarus (voir le graphique page 10), et il est fort probable qu'ils soient

Impacts sociaux, économiques, institutionnels et politiques

Un document scientifique de référence sur l'impact socio-économique, institutionnel et politique de l'accident a été préparé par de hauts fonctionnaires du Bélarus, de Fédération de Russie et d'Ukraine, et étudié par la conférence internationale*. Les diverses contremesures prises par les autorités, dont certaines visaient les risques radiologiques, ont créé nombre de problèmes sociaux et économiques. En voici quelques-uns relevés dans le document:

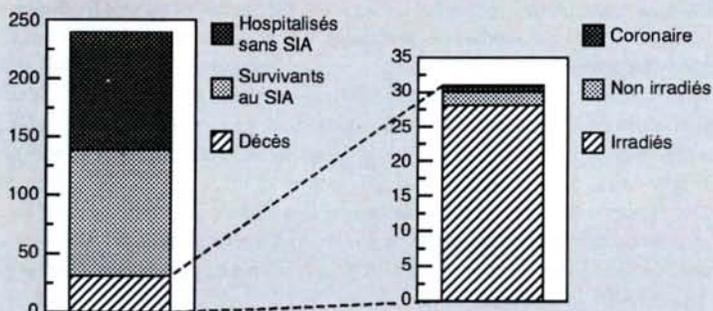
- Immédiatement après l'accident, 116 000 personnes ont été évacuées et, entre 1990 et la fin de 1995, près de 210 000 personnes de plus, réinstallées. Une ville nouvelle, Slavutich, a été construite pour le personnel de la centrale de Tchernobyl, en remplacement de Pripjat qu'il avait fallu évacuer.
- Des villages entiers ont été décontaminés, et de gros travaux d'infrastructure sur les circuits de distribution de l'eau et du gaz et sur les réseaux d'égoûts, exécutés. La perte de l'unité 4 de Tchernobyl et l'arrêt de la construction de nouveaux réacteurs ont réduit l'offre d'électricité.
- Dans les régions contaminées, le cours normal de la vie et de l'activité économique a été fort perturbé. En particulier, l'exploitation agricole et forestière a été gravement touchée, causant de fortes pertes de production. Les entreprises agricoles, les coopératives et la population en général ont été dédommagées des pertes de récolte, d'animaux et autres biens. Des sommes ont été versées à différents secteurs de la population, par exemple pour acheter des denrées alimentaires importées en remplacement des produits locaux.
- Les contrôles ont freiné les activités industrielles et commerciales. Il était difficile de vendre ou d'exporter, ce qui fit chuter les revenus locaux. La perception d'une existence «risquée» dans les zones touchées et l'absence de produits «propres» ont entravé les investissements dans l'industrie et le commerce.
- La restriction des activités habituelles a compliqué et troublé la vie quotidienne. L'angoisse, l'anxiété, le fatalisme et une psychose de «victime» se sont emparés de la population et persistent dans les régions contaminées.
- L'important changement démographique de la région dû à l'émigration de la jeunesse en particulier et son effet sur la natalité ont mené à une pénurie de jeunes travailleurs qualifiés et de professionnels.
- La transformation de l'économie planifiée en économie de marché avait commencé dans les pays touchés et devint d'autant plus difficile qu'il fallait réparer les dommages causés par l'accident.

* I.V. Rolevich, I.A. Kenik, E.M. Babosov, G.M. Lych, U.V. Voznyak, V.I. Kholosha, N.G. Koval'skij et A.A. Babich: Document scientifique n° 6 sur l'impact social, économique et institutionnel, dans le compte rendu de la conférence publié par l'AIEA.

tous dus à une radioexposition à la suite de l'accident. La situation est grave. L'augmentation subite est impressionnante; toutefois, elle ne semble pas persister chez les enfants nés après 1986. Ce cancer n'est généralement pas mortel s'il est diagnostiqué à temps, puis traité et surveillé. Lorsque la conférence s'est réunie, trois des enfants atteints étaient déjà décédés. On ne saurait faire un pronostic précis: l'incidence pourrait demeurer élevée pendant quelque temps et le nombre de cas signalés se chiffrer par milliers; la mortalité dépendra dans une large

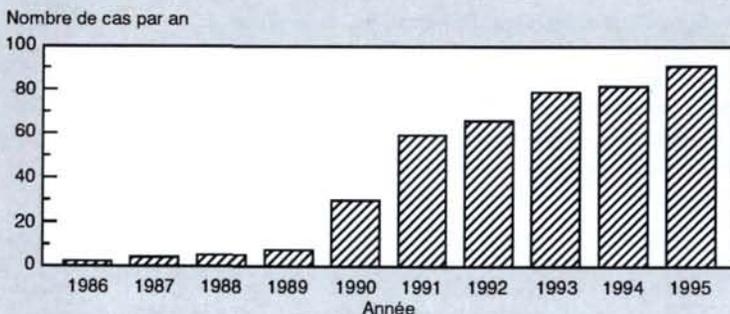
Effets observés parmi les liquidateurs lors d'examens cliniques

Ci-après, nombre total des personnes hospitalisées après l'accident, dont celles avec un diagnostic clinique de syndrome d'irradiation aiguë (SIA), et décès dus à l'irradiation ou à d'autres causes.



Incidence du cancer de la thyroïde chez les enfants du Bélarus

L'augmentation du nombre des cas est très sensible. Le graphique indique le nombre de cas de moins de 15 ans au moment du traitement. Jusqu'à présent, 800 cas ont été signalés. Probablement, la forte incidence se maintiendra pendant un certain temps et le nombre de cas en excédent se chiffrera par milliers.



mesure de la qualité et de l'intensité du traitement. Les effets sur la thyroïde sont examinés dans un rapport distinct de E.D. Williams et ses collaborateurs (page 31).

Effets sanitaires à long terme. Rien ne prouve à ce jour une incidence accrue d'affections malignes autres que le carcinome thyroïdien ou d'effets héréditaires imputables à la radioexposition consécutive à l'accident. Cette conclusion, surprenante pour certains observateurs, corrobore les doses relativement faibles à l'organisme entier reçues par la population exposée aux matières radioactives rejetées. Les doses viagères prévues pour cette dernière sont également faibles. De fait, les risques de tumeurs

Effets sanitaires imputables à la radioexposition

Deux types d'effets sanitaires sont attribués à une radioexposition due à l'accident:

Les *syndromes précoces* cliniquement observés chez les individus exposés — c'est-à-dire diagnostiqués par un spécialiste capable d'associer sans erreur possible le type et la gravité de l'effet à l'intensité de la radioexposition du sujet. Ils n'apparaissent qu'aux fortes doses supérieures à un certain seuil et traduisent une pathologie particulière d'organes et de tissus bien déterminés. Les *syndromes d'irradiation aiguë* (SIA) affectent l'organisme entier. A Tchernobyl, ils n'ont été signalés que chez un certain nombre de sapeurs-pompiers et autres membres des équipes d'intervention.

Les *affections malignes radio-induites à long terme* et éventuellement les *effets héréditaires*, qu'il est difficile, sinon impossible, de distinguer de la fréquence normale généralement élevée de ce type d'effets parmi la population. Ils sont imputés à l'irradiation, non pas directement à partir des résultats d'examens cliniques individuels, mais indirectement après de longues études épidémiologiques sur de grands échantillons de population, lorsque leur fréquence statistique s'accroît parmi cette population. En revanche, s'il s'agit d'une très faible dose ou d'un groupe restreint de personnes en cause, il devient impossible de les distinguer de leur incidence normale. A Tchernobyl, ils ne sont devenus manifestes que par l'incidence accrue des cancers de la thyroïde chez les enfants.

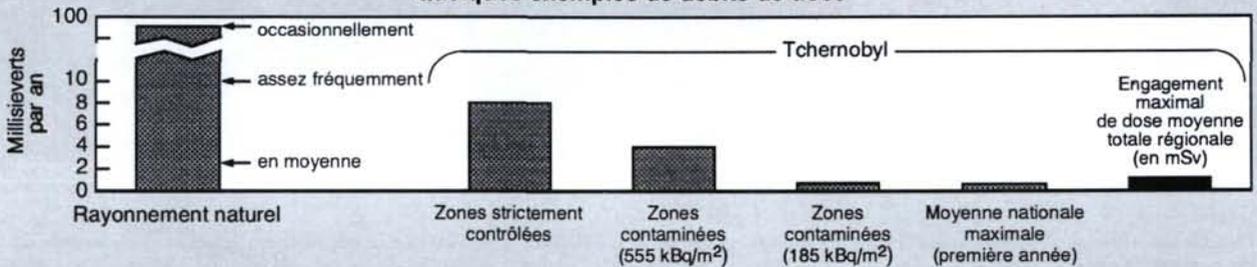
malignes et d'effets héréditaires radio-induits sont minimes aux faibles doses et, vu la fréquence normale généralement élevée de ce type d'effets parmi la population, il n'est pas surprenant que l'on n'ait rien constaté (voir l'encadré page 11).

Le manque de preuve d'effets à long terme connaît peut-être une exception avec le groupe des liquidateurs: considérant les doses relativement élevées signalées pour ce dernier, on aurait pu détecter une incidence accrue de leucémie. Quant aux autres affections malignes et effets héréditaires, le nombre des cas théoriquement prévus et imputables à une radioexposition consécutive à l'accident est si minime par rapport à l'incidence due aux rayonne-

Estimations des effets à long terme

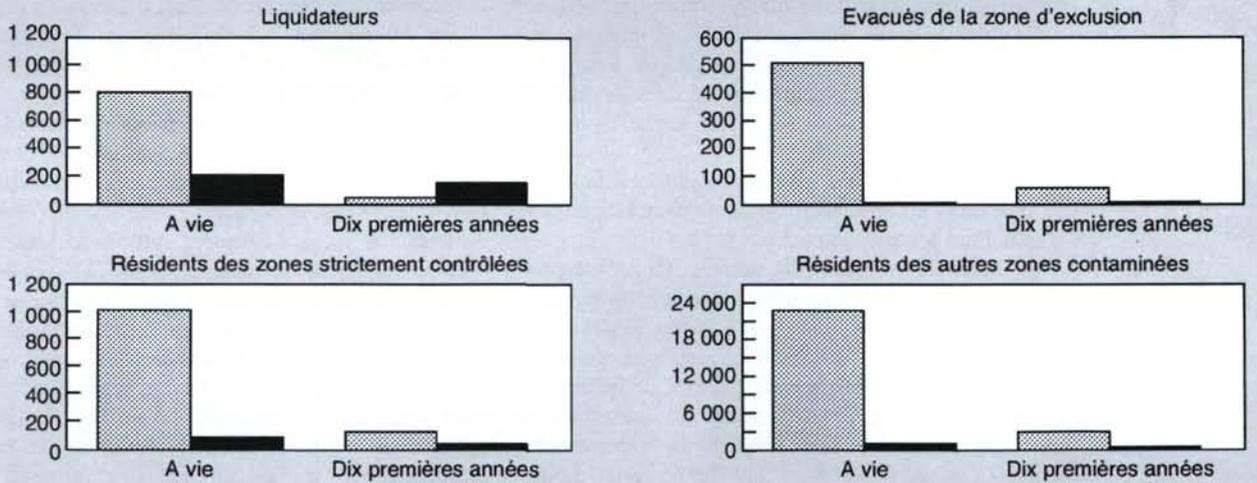
Pour prévoir les effets à long terme chez une population radioexposée, il faut évaluer les doses de rayonnements reçues par les individus pendant toute leur vie. Sauf pour les liquidateurs, les doses à l'organisme entier étaient relativement faibles. Parmi les 116 000 personnes évacuées pour des raisons de radioprotection, moins de 10 % ont reçu des doses supérieures à 50 mSv, niveau qui peut être atteint en quelques années dans une région à fort rayonnement naturel. Même pour les habitants qui sont demeurés dans des zones fortement contaminées, l'engagement de dose à vie sera du même ordre de grandeur. La dose cumulative maximale de 160 mSv, prévue par le PIT en 1990, est maintenant estimée à 120 mSv. En dehors des zones les plus touchées, les doses sont encore plus faibles. La dose engagée moyenne maximale pour l'Europe sur 70 ans a été évaluée par l'UNSCEAR à 1,2 mSv, soit la moitié de la dose moyenne qui serait reçue en un an seulement d'exposition à un rayonnement naturel moyen, comme on peut le voir ci-après.

Quelques exemples de débits de dose

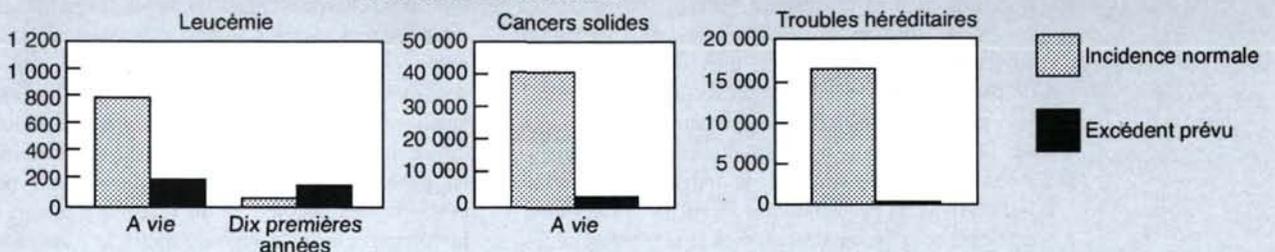


Ci-après, les prévisions d'effets à long terme radio-induits comparés à l'incidence normale prévue de ces derniers parmi la même population. Les quatre premiers graphiques indiquent les cas de leucémie, respectivement, chez les «liquidateurs», les évacués de la zone d'exclusion, les habitants des «zones strictement contrôlées» et les résidents des zones contaminées. Les trois derniers graphiques comparent, pour les liquidateurs, l'incidence radio-induite et l'incidence normale des leucémies, cancers solides et troubles héréditaires. A l'exception de la leucémie chez les liquidateurs (et des cancers de la thyroïde chez les enfants), les effets radio-induits théoriquement prévus ne sont pas statistiquement significatifs comparés à leur incidence normale. L'incidence accrue de la leucémie constatée chez les liquidateurs est assez équivoque et les carcinomes de la thyroïde demeurent le seul effet à long terme imputable à l'accident.

Prévisions de l'incidence des leucémies radio-induites et incidences normales



Prévisions des effets radio-induits parmi les liquidateurs et incidences normales





Plus de 800 experts de quelque 70 pays et organisations ont participé à la conférence internationale sur Tchernobyl.

(Photo: Pavlicek/AIEA)

ments naturels qu'il est impossible de le confirmer statistiquement.

La raison pour laquelle l'augmentation théoriquement prévue de l'incidence de la leucémie parmi les liquidateurs n'est pas évidente reste à déterminer. Peut-être la dose était-elle moindre qu'on ne le disait, ou l'étude épidémiologique de ce groupe laissait-elle à désirer, ou, ce qui est moins sûr encore, les risques de leucémie radio-induite seraient-ils moindres que l'estimation actuelle des cas constatés parmi les 200 000 liquidateurs déclarés qui ont travaillé en 1986-1987, soit environ 200 pour la durée de la vie, alors que l'incidence spontanée est à peu près de 800 (voir le graphique page 11). E. Cardis et ses collaborateurs donnent des détails dans leur rapports sur les effets sanitaires à long terme (page 36).

Un examen rétrospectif des conclusions du Projet international sur Tchernobyl sur ce point est présenté par Fred Mettler (page 33).

Impacts sociaux et autres. La conférence a estimé que les impacts sociaux, économiques, institutionnels et politiques de l'accident avaient leur importance. Un document scientifique commun présenté par des officiels du Bélarus, de Fédération de Russie et d'Ukraine décrit les perturbations économiques et sociales résultant de la catastrophe (voir l'encadré page 9). Il fait état de pertes économiques considérables attribuées à l'accident, sujet repris par divers participants nationaux dans leurs déclarations à la conférence. Entre 1986 et 1991, les pertes directes et les dépenses de l'ex-Union soviétique se chiffraient à plus de 23 milliards de roubles. Ces dernières représentaient notamment les pertes de biens d'équipement et la baisse de la production; la réinstallation des évacués, y compris la construction de logements et autres installations; la protection des forêts, la conservation de l'eau, et la décontamination et la régénération des sols; enfin, divers dédommagements et indemnités

versés à la population. Selon le Président du Bélarus, les estimations les plus modestes du dommage économique causé par l'accident équivalent à 32 budgets annuels de la République, soit 235 milliards de dollars, et 20 à 25 % du budget de l'Etat sont réservés chaque année à ces dépenses. Le Ministre russe de la protection civile, des secours et de l'élimination des conséquences des catastrophes naturelles a précisé que, pendant les dernières années, des milliards de roubles ont été affectés à la remise en état des régions de Russie contaminées par l'accident. Le Premier Ministre d'Ukraine a déclaré que l'élimination des conséquences de l'accident avait coûté trois milliards de dollars au budget national entre 1992 et 1996.

Nul doute qu'il existe un sérieux problème social associé au grave malaise psychologique constaté parmi la population — anxiété, dépressions et divers troubles psychosomatiques attribués au désarroi mental. Il est extrêmement difficile de savoir si ces effets sont uniquement imputables à l'accident ou s'ils sont dus aux difficultés économiques et autres problèmes sociaux de la région; ces manifestations sont étonnamment fréquentes dans les zones concernées, que la population ait été touchée directement ou non par l'accident (voir le graphique page 9). Dans un rapport distinct, Britt-Marie Drottz-Sjoberg et ses collaborateurs examinent plus en détail l'impact socio-psychologique (page 27).

Questions de sûreté nucléaire. Les réacteurs du type de Tchernobyl sont-ils sûrs? Le public et les autorités responsables se posent la question. De leur côté, les experts affirment que la possibilité d'un nouvel accident est pratiquement exclue du fait des améliorations apportées à la sûreté des installations de ce type. La sûreté des unités de Tchernobyl en exploitation et des RBMK du même type, et la sûreté des décombres du réacteur sinistré, dont la plupart sont contenus dans le *sarcophage*, appellent notre attention. Tous ces points ont été

Sûreté nucléaire

Une réunion internationale sur la sûreté de la centrale de Tchernobyl a eu lieu à Vienne du 1er au 3 avril dernier sous les auspices de l'AIEA et du Département des affaires humanitaires de l'ONU. Ses résultats ont été présentés à la conférence sur Tchernobyl.

En voici l'essentiel:

Causes de l'accident: L'information détaillée dont on dispose suffit à identifier les causes de l'accident et à prendre des mesures efficaces pour en éviter la répétition. On a confirmé:

- que la conception du réacteur comportait de graves défauts — en particulier, le système de mise à l'arrêt — et que des fautes graves d'exploitation ont été commises au moment de l'accident;
- que la culture de sûreté était insuffisante dans les services responsables de l'exploitation et de la commande: de graves défauts de sûreté, constatés longtemps avant l'accident, n'avaient pas été corrigés.

Sûreté des RBMK. Entre 1987 et 1991, une première série d'améliorations ont été apportées à tous les RBMK du type de Tchernobyl afin de résoudre les plus sérieux problèmes détectés, à savoir:

- réduction du coefficient de vide;
- amélioration du système d'arrêt d'urgence;
- renforcement des services d'exploitation.

Les problèmes non traités pendant cette première phase d'améliorations seront étudiés dans le détail selon les besoins différents des diverses générations de RBMK.

Le sarcophage. De l'avis général, il risque de se détériorer en tout ou en partie pendant sa durée utile prévue (environ 30 ans). A supposer, dans le pire des cas, qu'il se désintègre entièrement, on ne s'attend pas à des conséquences de grande envergure, mais sa stabilisation demeure un problème de sûreté de haute priorité.

Il est actuellement sûr du point de vue de la criticité. Il existe toutefois, à l'intérieur, des configurations de masses de combustible qui risqueraient de passer à l'état critique au contact de l'eau. Bien que cette éventualité ne puisse provoquer d'importants rejets hors du site, l'infiltration d'eau dans le sarcophage est un problème important de sûreté.

Il faut étudier plus à fond les incidences possibles sur la sûreté de la proximité des autres réacteurs toujours en exploitation à Tchernobyl.

examinés de manière approfondie lors de la réunion internationale sur la sûreté de la centrale de Tchernobyl qui a précédé la conférence et dont il a été rendu compte à celle-ci (*voir l'encadré ci-dessus*). Dans son rapport (*page 44*), M. Lederman donne des détails sur cette réunion et sur ses conclusions.

L'avenir. Les évaluations scientifiques des conséquences de l'accident de Tchernobyl viennent d'être examinées et corroborées, dix ans après, par une assemblée d'experts internationaux nombreuse et représentative. Les conclusions offrent au grand public, aux décideurs et aux dirigeants politiques des renseignements dignes de foi, ce qui devrait disqualifier la plupart des informations erronées.

Les niveaux de radioactivité encore détectables dans la plupart des régions touchées sont suffisamment faibles pour permettre un retour à une activité économique et sociale normale. Les effets sanitaires se sont avérés moins catastrophiques que certains l'ont craint ou rapporté. Toutefois, nombre d'effets radio-induits se sont produits et d'autres suivront,

sans doute; il faudra y porter remède. De surcroît, les impacts socio-économiques sont très sérieux.

Maintenant que nous connaissons mieux les conséquences de l'accident, nous devons orienter tous nos efforts vers ceux qui ont vraiment souffert et ont encore besoin d'aide.

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

On 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

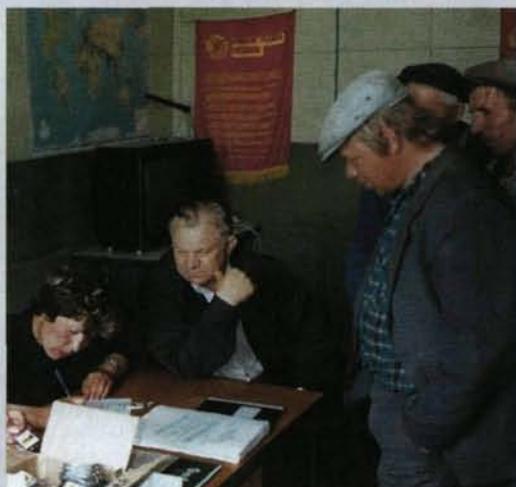
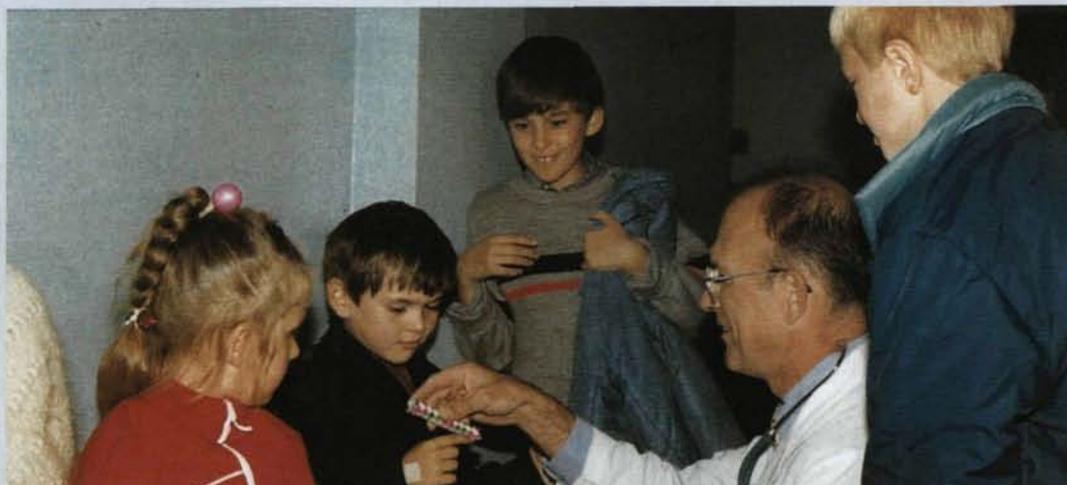
Il a fallu prendre d'urgence des mesures pour maîtriser les rejets de matières radioactives, dégager

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 km², 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 12×10^{18} Bq, dont 6 à 7×10^{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/m² est évaluée à 16 500 km², 4 600 km² et 8 100 km² 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:

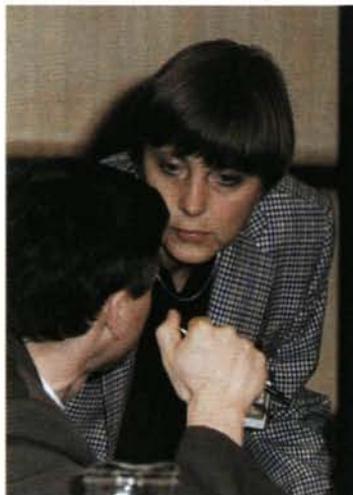
** La dose de rayonnement est une mesure de l'énergie absorbée par les tissus, par unité de masse, pondérée par l'efficacité du type de rayonnement et la radiosensibilité du tissu considéré. Les unités sont le sievert (Sv) et son sous-multiple le millisievert (mSv). A titre de comparaison, la dose moyenne 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**

Du 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 existât. 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 700×10^{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.

La démarche scientifique après Tchernobyl:

Rapports sur les questions traitées lors des séances thématiques de la conférence internationale réunie à Vienne dix ans après l'accident de Tchernobyl

CONSEQUENCES POUR L'ENVIRONNEMENT

Rapport de Mme Mona Dreicer (Etats-Unis), rapporteur, et de M. Rudolf Alexakhin, académicien de l'Institut de radiologie agricole et d'agro-écologie d'Obninsk (Fédération de Russie), vice-président de la séance thématique 5: «Conséquences pour l'environnement».

«**Q**ue pensent les experts des dommages subis par l'environnement à la suite de l'accident de Tchernobyl et à quoi peut-on s'attendre dans l'avenir?» — telle est la question que se posent souvent le public et les dirigeants.

Une seule et unique réponse est impossible: les niveaux de contamination du milieu sont très variables et il n'y a pas de commune mesure permettant de présenter les divers effets environnementaux, lesquels donnent lieu à un large éventail d'interprétations. En radioprotection, on juge que le milieu naturel est protégé quand la population humaine l'est, de sorte que les conséquences sont fréquemment considérées du seul point de vue de leur impact sur les humains. C'est pourquoi les méthodes les plus efficaces pour limiter le transfert naturel des radionucléides dans l'environnement (ce que l'on appelle les contre-mesures) sont très activement étudiées au cours des dix dernières années. La collecte d'importants renseignements facilite l'élaboration de directives de radioprotection pour les zones contaminées, et des progrès sont faits en recherche radioécologique fondamentale.

Nous donnons ci-après un bref aperçu des récentes estimations des premiers rejets dans l'environnement résultant de l'accident, des effets

observés de l'irradiation accrue des animaux et des plantes à proximité du site, et du transport des radionucléides.

Récentes estimations des rejets radioactifs.

Les diverses évaluations des premiers rejets, qui contiennent pour la plupart des radionucléides de courte période, concordent dans l'ensemble. Les évaluations actuelles des nucléides radiologiquement importants (iode 131, césium 134 et césium 137) sont de deux à trois fois supérieures à celles de 1986, à savoir 2 exabecquerels (EBq), 50 petabecquerels (PBq) et 90 PBq, respectivement. Cette réévaluation du terme source n'altère cependant pas les estimations des doses individuelles fondées sur les mesures de la contamination du milieu ou de l'organisme entier faites dans les régions touchées. Après dix ans de désintégration subsistent environ 80 PBq de radionucléides de longue période (principalement césium 137 et strontium 90), soit environ 1 % du total des rejets (*voir le tableau page suivante*).

Pendant cette période, la distribution de la contamination ne change pratiquement pas et le transport secondaire de matières est relativement minime. Les particules chaudes de combustible projetées hors du réacteur distinguent les rejets de cet accident des retombées d'essais d'armes nucléaires. A proximité du réacteur, elles commencent à se désintégrer et un complément d'étude est nécessaire pour déterminer leur distribution finale dans l'environnement.

Effets directs sur la faune et la flore. Immédiatement après l'accident, les plus fortes doses sont reçues par les animaux et les plantes dans un rayon de 30 kilomètres autour du réacteur. Les niveaux de contamination atteignent facilement des dizaines de mégabecquerels (MBq) par m² (milliers de Ci/km²) à certains endroits, de sorte que les doses externes aux petits animaux et aux végétaux dues aux radionucléides de courte période se chiffrent par dizaines de grays (Gy) pendant le premier mois. En automne 1986, le débit de dose à la surface du sol est 100 fois moindre qu'initialement.

Des dommages radio-induits directs à la faune et à la flore sont constatés dans certains coins de

les effets sociaux, sanitaires et écologiques



Ci-dessus: Châtaignier en fleurs dans la zone d'exclusion de 30 kilomètres. **A droite:** Aux alentours de la centrale de Tchernobyl, que l'on aperçoit à l'horizon, les arbres repoussent là où on avait dû abattre les forêts.

(Photo: Eric Voice)

la zone d'exclusion. Les doses sont létales pour des écosystèmes radiosensibles (petits mammifères et forêts de conifères des alentours).

Les effets directs aigus de fortes doses de rayonnement observés chez quelques animaux n'influent pas systématiquement sur l'état de santé général de la population. Par exemple, des vaches pâturant sur des prés contaminés à proximité du réacteur immédiatement après l'accident reçoivent des doses à la thyroïde de l'ordre de centaines de Gy qui provoquent l'atrophie et la nécrose totale de la glande. Dans d'autres écosystèmes, ou sur des sujets animaux ou végétaux isolés, aucun effet léthal n'est relevé.

Les débits des doses chroniques en certains endroits de la zone d'exclusion réduisent la fertilité de quelques espèces animales, mais la plupart des populations animales ou végétales irradiées se rétablissent quelques années plus tard. Par exemple, dans une zone de 3 000 hectares autour de la centrale, en 1988-1989, les conifères endommagés recouvrent déjà leurs fonctions de reproduction.

Matières radioactives résiduelles dans l'environnement mondial à la suite de l'accident de Tchernobyl d'avril 1986

Principaux radionucléides	Rejetés en 1986 (PBq*)	Restants en 1996 (PBq)	Restants en 2056 (PBq)
I-131	1200-1700	0	0
Sr-90	8	6	1,5
Cs-134	44-48	1,6	0
Cs-137	74-85	68	17
Pu-238	0,03	0,03	0,02
Pu-239	0,03	0,03	0,03
Pu-240	0,044	0,044	0,03
Pu-241	5,9	3,6	0,2
Am-241**	0,005	0,08	0,2

* 1 PBq = 10^{15} Bq. Estimation de la décroissance des rejets rapportée au 26 avril 1986, jour de l'accident.

** En 1996, l'activité de l'américium 241 est plus élevée qu'en 1986 car il s'agit d'un produit de filiation du plutonium 241 (période de 14 ans). Il faut tenir compte de cette augmentation dans tout pronostic radiologique; les doses dues à l'américium 241 n'excéderont cependant pas les doses actuelles dues aux autres radionucléides.



Il est difficile de déterminer comment évoluera à long terme l'état de santé de telle ou telle population.

Les médias rapportent de graves malformations à la naissance chez des animaux domestiques en dehors de la zone de 30 kilomètres, en 1988-1989; la fréquence de ces dernières est la même dans les régions très contaminées et les régions non contaminées d'Ukraine; la raison n'est donc pas un surcroît de radioexposition. Aucun autre effet sérieux n'est noté par la suite chez des animaux domestiques.

Par ailleurs, dans des zones à forts débits de dose, des altérations de chromosomes de mitochondries passent à la progéniture, mais des témoignages indiquent une réparation générale du dommage radio-induit. A ce jour, les avis sont partagés quant aux effets héréditaires potentiels à long terme des très fortes doses sur les animaux et les plantes.

Actuellement, les principaux responsables de l'irradiation chronique à faible dose sont les radio-isotopes du césium. En certains points isolés, la dose externe est encore de l'ordre de 1 mGy par jour; dans le rayon de 30 kilomètres, l'environnement naturel se rétablit néanmoins. Du fait de la réinstallation des habitants de la zone d'exclusion, les effectifs et la variété des communautés animales et végétales varient quelque peu, mais la cause en est l'abandon des terres et non l'irradiation. Des populations naturelles prospèrent même après le départ des humains. Une élimination permanente d'espèces animales ou végétales des zones les plus contaminées n'est jamais constatée, sauf là où un nettoyage impliquant l'enlèvement des sols modifie totalement l'écosystème.

Contamination de l'environnement. Dans le milieu semi-naturel, les facteurs clés de la migration des radionucléides entre le sol et la végétation des écosystèmes de prairies sont l'argile, la matière organique et l'humidité du sol. La migration actuelle est généralement lente et stable et se maintiendra probablement pendant plusieurs décennies, malgré la baisse de la teneur du sol en matières radioactives. La migration du strontium 90 est plus rapide que celle du césium 137, mais l'influence des différents types de sol est la même. Il importe de connaître ce taux de migration avant de décider d'utiliser à long terme les prairies comme pâturages pour les bovins.

Pratiquement toute la contamination des écosystèmes forestiers se trouve aujourd'hui dans l'humus. Dans les arbres, le radiocésium absorbé par les racines se concentre dans les cernes récents. Le problème n'est pas grave, mais la concentration de césium 137 dans le bois va augmenter. On n'a pas trouvé de solution rentable pour freiner cette migration.

Le gibier qui pâture sur les herbages semi-naturels, en forêts ou dans les régions montagneuses, ainsi que les denrées sauvages consommables telles que les baies et les champignons sont toujours contaminés au-delà des strictes limites nationales non seulement dans certaines régions du Bélarus, de Fédération de Russie et d'Ukraine, mais aussi dans les pays nordiques et au Royaume-Uni, et resteront fortement contaminés pendant plusieurs décennies. Le césium 137 y demeurera transférable aux denrées alimentaires pendant plus longtemps que dans les environnements agricoles.

Depuis 1986, on fait la preuve en milieu agricole que des mesures efficaces permettraient de réduire sensiblement les concentrations de césium et de strontium dans les denrées alimentaires. Le niveau

de contamination, la nature et l'humidité du sol, ainsi que le genre de culture influent largement. Par exemple, le facteur de transfert du pâturage au lait varie d'un facteur de plusieurs centaines selon la nature du sol, ce qui montre clairement que les mesures doivent s'adapter à l'endroit pour être efficaces. Les remèdes sont simples, peu onéreux et sûrs: labours profonds des sols contaminés en surface; épandage d'engrais ou autres produits chimiques sur les terres cultivées; remplacement des cultures; modification du régime alimentaire et des périodes d'abattage du bétail; emploi de pains de sel et de boulettes alimentaires au bleu de Prusse pour freiner le transfert de césium au bétail; et évacuation du bétail vers des pâturages non contaminés (voir l'article page 38).

Les écosystèmes aquatiques tolèrent la contamination radioactive, qui se dépose progressivement dans les sédiments et affecte certaines populations seulement dans le bassin de refroidissement de la centrale de Tchernobyl. Aucun effet direct à long terme de l'irradiation n'est confirmé. Les quantités de matières radioactives qui atteignent les masses d'eau douce sont faibles comparées au dépôt total et le niveau d'activité des eaux superficielles baisse radicalement dans le mois qui suit l'accident. Contrairement à ce que pense le public, les niveaux de contamination actuels des lacs artificiels sont bien inférieurs aux critères de dégradation de la qualité de l'eau. En revanche, le poisson peut accumuler les radionucléides et des mesures seraient peut-être nécessaires dans certains endroits (même dans des pays éloignés, comme la Suède).

Conclusions. Aux niveaux élevés de rayonnement, l'existence d'impacts à court terme est manifeste dans quelques secteurs du milieu naturel à hauts débits de dose, mais celle d'effets significatifs à long terme reste à prouver; des mesures efficaces peuvent être prises pour réduire le transfert de la contamination de l'environnement à la population humaine, mais elles sont fonction du site et doivent être jugées d'après leur commodité. Si les remèdes agricoles sont bien appliqués, les doses futures proviendront surtout de la récolte de denrées et d'activités de loisir dans les écosystèmes naturels et semi-naturels.

EFFETS SOCIAUX ET PSYCHOLOGIQUES

Rapport de Britt-Marie Drottz-Sjöberg, centre de recherche sur le risque (Suède), présidente de la séance thématique 4: «Autres effets sanitaires: conséquences psychologiques, stress, anxiété»; G.M. Rumyantseva, centre Serbsky de psychiatrie sociale et légale (Moscou); A.I. Nyagu, institut de radiologie, Kiev (Ukraine); et L.A. Ageeva, institut de sociologie, Minsk (Biélarus).*

Le projet-2, lancé par des chercheurs d'Europe et de la Communauté des Etats indépendants (CEI) et financé par la Commission européenne, débute en 1991-1992 et s'achève en 1995. Un des volets de la recherche concerne les effets sociaux et psychologiques de l'accident de Tchernobyl.

Plusieurs enquêtes visent à préciser les réactions parmi les populations directement touchées (habitants de zones à différents niveaux de contamination et personnes réinstallées). Ces groupes sont comparés à des groupes témoins vivant dans des zones non contaminées. Les sondages portent sur les réactions psychologiques (stress, maîtrise de soi, sentiments communs et perception de diverses sortes de risque), ainsi que sur le degré de confiance dans les sources d'information, les connaissances individuelles sur les rayonnements, la perception du degré de contamination radioactive du lieu de résidence et les niveaux de vie. En tout, 5 000 personnes sont interrogées.

De précédentes études montrent que les problèmes psychologiques liés à l'accident ne s'atténuent pas avec le temps. Les gens se sentent exposés à des risques réels et les personnes réinstallées perçoivent les plus hauts risques. Les réponses à la question sur l'aptitude à se protéger soi-même de la contamination radioactive sont décourageantes dans l'ensemble. Les préoccupations engendrées par les risques pour la santé résultant de cette dernière et les difficultés de la vie quotidienne ne font qu'aggra-



Dans la zone de 30 km, certains habitants ayant toujours vécu près de Tchernobyl ont regagné leurs foyers d'où ils avaient été évacués en 1986 après l'accident. D'autres, une fois réinstallés, ne sont pas revenus, laissant maisons, fermes et vergers à l'abandon. (Photo: Eric Voice)

* Ce rapport résume «The influence of social and psychological factors in the management of contaminated territories», de B.-M. Drottz-Sjöberg, G.M. Rumyantseva; P.T. Allen, Institut Robens de l'Université du Surrey (Royaume-Uni); H.V. Arkhangelskaya, Institut d'hygiène radiologique, Saint-Petersbourg (Russie); A.I. Nyagu; L.A. Ageeva; et V. Prilipko, Institut de médecine radiologique, Kiev (Ukraine). Ce mémoire a été présenté à la conférence de Minsk sur «les conséquences radiologiques de l'accident de Tchernobyl», réunie du 18 au 22 mars 1996.

ver le stress. Les interrogés veulent en savoir davantage.

Dans les régions contaminées, la connaissance des rayonnements que le sujet s'attribue apaise son stress. Ceux qui pensent pouvoir agir sur la dose qu'ils reçoivent éprouvent moins de stress, ceux qui ont tendance à croire que les choses sont fixées par le destin sont probablement exposés à une plus forte dose que les autres. Les habitants qui se sont volontairement réinstallés et considèrent que leur décision est justifiée sont les moins stressés, ceux qui y ont été contraints et estiment que la décision est injustifiée réagissent le plus fortement. Le manque de confiance dans les diverses sources d'information est général, mais les experts étrangers sont plus écoutés que les experts du pays et les services de santé sont jugés plus fiables que certains organes politiques.

Ceux qui prêtent plus d'attention aux médias se déclarent plus soucieux. L'analyse périodique d'un choix de journaux bélarusses, russes et ukrainiens montre que la plupart des articles sont écrits par des journalistes. Ce qu'écrivent les experts, les spécialistes et les autorités est bien moins fréquemment publié mais paraît dans une certaine mesure en 1986, et de nouveau en 1989-1990 et par la suite. Un autre trait commun à toute la presse en 1986 et 1987 est son contenu plutôt apaisant. Des articles empreints d'émotion paraissent plus fréquemment vers 1990 et par la suite, ce que l'on interprète comme un reflet du climat d'incertitude politique créé par le démembrement de l'URSS et par les campagnes électorales.

L'étude révèle une diversité de réactions et de besoins et leur évolution avec le temps. Les différences s'accroissent entre les groupes directement touchés et les autres. A court et à moyen terme, un besoin général d'informations, de conseils de comportement et de soins médicaux se manifeste.

Pour l'avenir à plus long terme, des préparatifs aideront à faire face à de nouveaux besoins engendrés par les contre-mesures elles-mêmes, notamment la réinstallation. L'acceptation volontaire ou le choix personnel causent moins de troubles psychologiques. En Russie, la réinstallation modifie le panorama psychologique et atténue le stress. L'opération se déroule par étapes successives, généralement avec l'assentiment des intéressés, prévoit des subsides substantiels et facilite le maintien du tissu social. Quant à l'organisation des soins, il est nécessaire d'être prêt non seulement à assurer immédiatement un dépistage médical à grande échelle après un accident radiologique mais aussi, dans la stratégie à moyen terme, à prévoir des options non obligatoires, par exemple des services d'orientation ou de mesure des doses individuelles ou de la contamination des denrées. La gestion à long terme du risque sanitaire serait adaptée aux besoins des groupes touchés et vulnérables.

L'aide financière et les dédommagements, très importants dans l'immédiat et à moyen terme, opé-

raient à long terme au détriment de leurs avantages en créant une dépendance au lieu de favoriser l'auto-suffisance. Un aspect de la réinstallation rarement étudié concerne l'information et l'aide à fournir aux communautés d'accueil: l'arrivée des nouveaux venus, pour lesquels des logements sont construits, est un choc pour ces dernières; le bien-être ne sera que mieux assuré si la gestion du risque à long terme prévoit un inventaire des ressources communes et vise à satisfaire les besoins de tous.

Les résultats de l'enquête doivent être rapportés aux changements résultant de la politique de *glasnost* et de *perestroïka* et à l'incertitude sociale accrue de la fin des années 80 et du début des années 90. L'accident marque la rupture entre un système social qui a duré plus de 70 ans et des temps nouveaux. Il restera longtemps dans les esprits. L'impact émotionnel, social et économique sur la communauté ou sur la société est durable, et une meilleure compréhension des réactions du public aide à gérer le risque, à l'atténuer effectivement, à utiliser au mieux les ressources financières et à soulager les souffrances inutiles. Nos études empiriques apportent des informations et des connaissances grâce à l'ampleur de l'enquête et à l'analyse détaillée de groupes spécifiques. Les groupes témoins permettent de tenir compte des principaux changements sociaux et politiques de caractère général. Le projet montre que l'on peut enquêter sur l'expérience individuelle des citoyens en vue de répondre à des besoins précis et de faciliter la planification. L'enquête bénéficie par ailleurs de la coopération internationale et d'un échange personnel d'expérience et de renseignements.

EFFETS OBSERVÉS LORS D'EXAMENS CLINIQUES

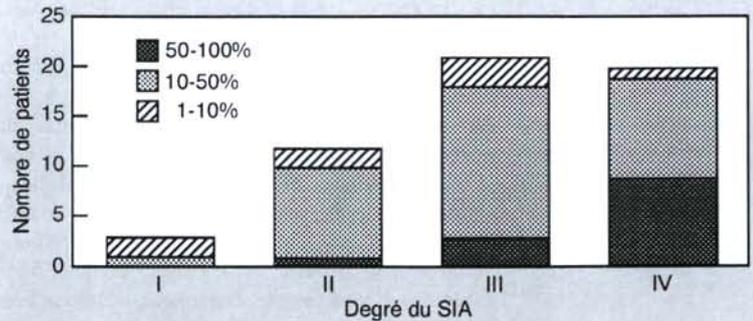
Rapport de Gérard Wagemaker, Université Erasmus, Commission européenne, rapporteur de la séance thématique I: «Effets observés lors d'examen cliniques»; Angelina K. Guskova, Institut de biophysique de Moscou (Russie), vice-présidente de la séance; Vladimir G. Bebesko, Centre scientifique de médecine nucléaire de Kiev (Ukraine); et Nina M. Griffiths, ISPN de Fontenay-aux-Roses (France), tous deux membres du comité d'experts de la séance*.

Lorsque le tissu d'un mammifère reçoit une dose de rayonnement suffisamment forte, il risque de perdre partiellement ou totalement sa fonction. A l'extrême, il est entièrement détruit. S'il est vital, la mort peut s'ensuivre. Mains accidents avec des sources radioactives causent de graves lésions locales menant parfois à l'amputation d'un membre.

Les fortes doses de rayonnement dues à l'accident de Tchernobyl affectent très gravement l'hématopoïèse, la résistance à l'infection et les fonctions intestinales, et entraînent de graves lésions cutanées. L'ensemble de ces symptômes morbides constitue le «syndrome d'irradiation aiguë» (SIA). Les manifestations les plus courantes sont les nausées, les vomissements, la diarrhée et, par la suite, les hémorragies et les infections généralisées avec forte fièvre, provoquées par des micro-organismes d'habitude inoffensifs. Sans traitement, le SIA est mortel, même s'il résulte de doses de rayonnement qui ne sont pas nécessairement incompatibles avec la survie de l'organisme humain, telles celles appliquées en médecine clinique pour traiter diverses formes de cancer. Lors d'un accident, le dommage radio-induit se complique d'autres lésions, notamment de brûlures d'origine thermique.

* Les auteurs ont consulté les contributions d'Alexandre A. Baranov, Centre de recherche de l'Etat, Institut de biophysique de Moscou (Russie); de John W. Hopewell, Institut de recherche de l'Université d'Oxford (Royaume-Uni); de Ralf U. Peter, Département de dermatologie de l'Université Ludwig-Maximilians de Munich (Allemagne); et de T.M. Fliedner, Département de physiologie clinique et de médecine du travail, Université d'Ulm (Allemagne). La recherche a été financée en partie par des contrats de la Commission des Communautés européennes au titre de la sûreté de la fission nucléaire.

SIA et lésions cutanées chez les patients de Tchernobyl



A la suite de l'accident, 237 personnes semblent souffrir du SIA. Le diagnostic le confirme chez 134 d'entre elles, dont 41 au stade bénin (degré I); toutes survivent; un autre cas est en suspens. Cinquante patients présentent un SIA du degré II, et l'un d'eux meurt. Sur 22 cas du degré III, sept meurent et, sur 21 patients très gravement atteints (degré IV), un seul survit. Dans ce groupe, les lésions gastro-intestinales sont le problème le plus sérieux chez ceux qui ont reçu des doses supérieures à 10 Gy, avec altérations précoces et létales de la fonction intestinale. Au cours des trois premiers mois suivant leur exposition, 26 patients meurent de lésions cutanées sur plus de 50% de l'ensemble du corps. Un rapport entre le SIA et l'étendue des lésions cutanées indique que presque tous les patients gravement atteints le sont doublement (voir le graphique).

L'accident de Tchernobyl provoque une très forte exposition au rayonnement bêta (par contamination et par incorporation), d'où un cadre clinique différent des cas de Hiroshima et de Nagasaki. Dès le début, un nombre frappant de patients souffre de lésions radio-induites de la peau et des muqueuses au niveau supérieur du tube digestif et des voies

**Examen
d'une lésion cutanée
à l'Institut
de biophysique
de Moscou,
dans le cadre
d'un projet financé
par l'UE.**

(Photo: Wagemaker/CE)

respiratoires, dues à la contamination par les isotopes émetteurs bêta et gamma du césium 137, du césium 134 et du strontium 90. Ces lésions, seules ou combinées, sont la cause principale des décès survenus immédiatement après l'accident.

Les survivants du SIA souffrent tous de traumatismes et de lésions temporaires étendues; leur convalescence est longue. Certains d'entre eux porteront le stigmate de leur traumatisme pendant le restant de leurs jours, au niveau tant psychique que somatique, tout comme les victimes d'autres accidents graves. Même si l'extrême inhibition de la moelle osseuse est corrigée en deux mois, le rétablissement complet des fonctions immunitaires demande au moins six mois et le retour à la normalité se fait attendre pendant des années. Cela dit, le système immunitaire peut ne pas être fonctionnellement altéré.

Chez les patients souffrant de graves lésions cutanées, compliquées par la chirurgie et la guérison difficile des plaies, la convalescence prolongée provoque un stress chronique avec augmentation probable de ses marqueurs biochimiques. Chez l'homme, la fertilité est très lente à se rétablir et, aux fortes doses, définitivement compromise. Plusieurs parties de l'œil sont assez radiosensibles et, en particulier, des cataractes se déclarent après plusieurs années. Une forte irradiation cause des problèmes cardio-vasculaires et des troubles gastro-intestinaux tardifs et éventuellement très gênants.

Après la phase aiguë de l'accident, 14 des 237 patients meurent au cours des dix dernières années. Leur mort n'est pas due à la gravité initiale du SIA et, pour la plupart, n'est probablement pas directement imputable à la radioexposition, mais il est difficile d'exclure cette possibilité. De fait, cinq de ces 14 victimes ne souffraient pas du SIA et n'auraient reçu que de faibles doses de rayonnement.

Le reste des patients qui souffraient du SIA jouissent d'un état de santé généralement acceptable et sont surveillés régulièrement. Il y a de bonnes chances que la qualité de la vie des survivants s'améliore. Chez les plus gravement atteints, de multiples affections appellent une thérapie moderne et un traitement préventif secondaire, et la santé

mentale n'est peut-être pas idéale. Aussi faudra-t-il chercher à distinguer dans le tableau de la morbidité entre les maladies attribuables à une radioexposition et celles qui résultent des facteurs perturbants inhérents à la population. Le suivi des patients doit être assuré pendant 20 ou 30 ans encore et coordonné par un seul centre hautement compétent sur le plan clinique et en recherche.

Notre expérience après Tchernobyl nous apprend qu'il reste beaucoup à faire pour améliorer la gestion clinique du SIA dans ce genre de situations compliquées par des lésions cutanées radio-induites et autres lésions sans rapport avec le rayonnement. Nul doute que les patients en question sont traités de la meilleure façon possible selon les connaissances du moment, dans le centre le plus compétent.

Les greffes de moelle osseuse recommandées à l'époque n'ont pas été très efficaces chez la plupart des patients gravement atteints. Nous savons aujourd'hui pourquoi. Dans la même situation, des greffes de moelle osseuse pratiquées dans les cas les plus graves consécutifs à l'accident seront inconcevables à l'avenir. Des produits nouveaux sont disponibles: en particulier, plusieurs cytokines, substances stimulantes de l'hématopoïèse, ont la propriété d'activer la régénération du sang et du système immunitaire.

La meilleure façon de traiter les lésions de la moelle osseuse consistera à administrer sans tarder ces stimulants, même si leur combinaison optimale et le fractionnement des doses restent à déterminer. Toutefois, grâce aux progrès de la greffe de cellules souches du sang et de l'identification de tissus, la greffe sera toujours considérée comme un traitement adjuvant de survie, en particulier dans les cas où la moelle osseuse est trop gravement endommagée pour un recours à la thérapie moderne. Quant aux autres dommages radio-induits, de nouveaux moyens aboutiront à un diagnostic plus précis et faciliteront l'adaptation du traitement.

Médecin japonais examinant un enfant d'un village proche de la centrale, pendant le Projet international sur Tchernobyl de 1990.

(Photo: Mettler/États-Unis)



EFFETS SUR LA THYROÏDE

Rapport de E.D. Williams, Université de Cambridge (Royaume-Uni), secrétaire scientifique; A. Pinchera, Université de Pise (Italie), président de la séance thématique 2: «Effets sur la thyroïde»; D. Becker, Centre médical Cornell (Etats-Unis); E.P. Demidchik, Institut médical d'Etat (Biélorus); S. Nagasaki, Ecole de médecine de l'Université de Nagasaki (Japon); et N.D. Tronko, Institut d'endocrinologie et métabolisme (Ukraine), tous membres du Comité d'experts.

Après l'accident, la population des environs de Tchernobyl (sud du Biélorus et nord de l'Ukraine) est exposée à de fortes concentrations de retombées contenant de grandes quantités de radio-iodes. La thyroïde concentre l'iode, elle est donc plus intensivement irradiée que d'autres tissus de l'organisme. L'iode 131, radioactif, est couramment utilisé sans risque pour le traitement de la thyrotoxicose. L'incidence accrue du carcinome de la thyroïde chez les enfants des zones exposées aux retombées est surprenante: aucun cancer de ce genre n'apparaît chez les malades traités au radio-iodes, et la latence entre l'exposition et la manifestation des premiers cas est brève (quatre ans).

Nous examinerons cette incidence accrue compte tenu de son lien évident avec l'exposition aux retombées, ainsi que les isotopes responsables et les conséquences probables dans l'avenir.

Pour la première fois, une population aussi nombreuse est exposée à des retombées de cette importance. D'énormes quantités de matières radioactives sont rejetées, en particulier de l'iode 131 et d'autres isotopes de très courte période. Des données directes sur l'absorption de ces derniers n'existent pas, mais des mesures de l'iode 131 sont faites après l'absorption maximale.

Les doses absorbées dues à l'iode 131 dans différentes localités qui ne sont pas nécessairement représentatives de l'ensemble de la région sont évaluées entre 790 et 2 400 mGy chez les jeunes enfants et entre 190 et 370 mGy chez les adultes. L'apport de l'exposition aux isotopes de courte période n'est pas connu et il faudrait refaire les premiers calculs. Certaines études évaluent à 420 mGy la dose moyenne aux enfants de la province de Gomel âgés de 0 à 7 ans, mais une étude récente de l'Agence pour l'énergie nucléaire l'évalue à 1 Gy, avec plus de 9 % de ces enfants recevant de 10 à 40 Gy.

Pendant quatre ans après l'accident, les cancers de la thyroïde chez l'enfant se chiffrent au Biélorus à moins de 10, mais 29 cas sont diagnostiqués en 1990, 79 en 1993 et 82 en 1994. La chirurgie révèle, dans environ la moitié des cas, une invasion directe des tissus voisins et, chez les deux tiers, des métastases dans les ganglions lymphatiques. Quatre cas sont relevés chez les enfants nés après 1986 (ils n'ont donc pas plus de 8 ans en 1994).

L'Institut d'endocrinologie de Kiev diagnostique chaque année de 8 à 11 cancers de la thyroïde pendant quatre ans après l'accident, puis 26 en 1990, 43 en 1993 et 39 en 1994. Dans 60 % de ces cas, la chirurgie révèle une invasion des tissus mous et 60 % de métastases dans les ganglions lymphatiques. Un enfant des 114 examinés à l'Institut est né après 1986. En Russie, un cas est signalé dans la province de Bryansk entre 1986 et 1989, tandis que 23 cas de carcinome de la thyroïde sont diagnostiqués chez les enfants de moins de 15 ans entre 1990 et 1994 inclus.

Une étude récente des diagnostics histologiques du Biélorus indique une concordance à 98 % pour les 134 cas examinés par du personnel de l'Institut de pathologie du Biélorus, conjointement avec du personnel du Département d'histopathologie de Cambridge. Sur l'ensemble des 298 cas observés à l'Institut de pathologie en 1990-1994, 98 % de carcinomes sont papillaires, 1,3 %, folliculaires, et 0,3 %, médullaires.

Les cas de l'Ukraine sont tout à fait identiques à ceux du Biélorus. Sur les 122 cas diagnostiqués chez les enfants de moins de 15 ans à l'Institut d'endocrinologie de Kiev entre 1990 et 1994 inclus, 114 sont étudiés à la fois à Kiev et à Cambridge, et les diagnostics coïncident à plus de 97 %; ils indiquent 94 % de cancers papillaires, 4 % de folliculaires et 2 % de médullaires. Des spécimens prélevés sur 10 cas des régions contaminées des provinces de Bryansk, Kaluga ou Tula en Russie sont examinés par des pathologistes du RAMS à Obninsk et à Cambridge. Un cas ne décèle aucune tumeur et les neuf autres cas décèlent tous des carcinomes papillaires, dont un microcarcinome. Ces résultats confirment dans l'ensemble les diagnostics faits dans la CEI. Ils montrent que les mêmes types de cancer infantile de la thyroïde se rencontrent parmi les populations exposées et les populations non exposées, mais que les carcinomes autres que les papillaires ne représentent qu'une très faible proportion des cas relevés dans les régions contaminées.

Les études de biologie moléculaire élucident une relation étroite entre le type de l'oncogène et le type pathologique de la tumeur, de sorte que l'incidence accrue des carcinomes de la thyroïde chez les enfants des environs de Tchernobyl correspond à celle d'un type particulier de tumeur de la thyroïde, le carcinome papillaire, fréquemment associé au remaniement d'un oncogène spécifique, le ret. On n'a constaté aucune stimulation accrue

des autres types d'oncogènes étudiés — les trois gènes ras, TSHr et p53 — que l'on sait associés à la carcinogénèse thyroïdienne.

Au Bélarus, la province de Gomel, proche de Tchernobyl, est la plus fortement exposée aux retombées. Entre 1990 et 1994, 172 cas sont dénombrés parmi les enfants de cette dernière, qui sont actuellement 370 000, contre 143 cas relevés dans le reste du Bélarus, où vivent 1 960 000 enfants. L'incidence brute dans la province est donc de 92 par million d'enfants et par an, contre 14,6 dans le reste du Bélarus.

De même, en Ukraine, les six provinces du nord, voisines du Bélarus, sont beaucoup plus exposées que le reste du pays. Entre 1990 et 1994, 112 cas sont dénombrés dans ces dernières, où vivent deux millions d'enfants, contre 65 cas relevés dans le reste de l'Ukraine, qui compte 8,8 millions d'enfants. L'incidence brute dans ces provinces est donc de 10,6 par million d'enfants et par an, contre 1,5 dans le reste de l'Ukraine.

Les fréquences au Bélarus et en Ukraine avant Tchernobyl et celles que donne une étude de 30 ans en Angleterre et au pays de Galles sont toutes d'environ 0,5 par million d'enfants et par an. On peut donc conclure à une très forte augmentation de l'incidence du carcinome thyroïdien infantile dans les environs de Tchernobyl et à sa corrélation avec l'exposition aux retombées.

Lorsqu'on distribue les fréquences relevées au Bélarus par groupes d'âge au moment de l'exposition, le rapport entre les fréquences observées et les fréquences prévues est le plus élevé parmi les enfants les plus jeunes au moment de l'accident et diminue rapidement à mesure qu'avance l'âge au moment de l'exposition. Cette sensibilité accrue des très jeunes enfants aux effets des retombées s'accorde avec l'observation d'une sensibilité accrue des jeunes enfants aux effets carcinogènes des rayons X sur la thyroïde. La diminution du risque de tumeur thyroïdienne à mesure que l'enfant grandit mérite une étude plus approfondie pour être quantifiée avec précision, mais une différence considérable est déjà constatée entre les nouveau-nés et les enfants de dix ans. L'étude devrait porter également sur les adolescents. La diminution de la sensibilité avec l'âge explique l'absence d'effets carcinogènes du traitement à l'iode 131 chez les adultes souffrant de thyrotoxicose, quoique d'autres facteurs interviennent probablement.

La thyroïde connaît d'autres effets radio-induits que le cancer, dont le plus évident est l'hyperthyroïdie consécutive à une forte exposition à des rayonnements externes ou internes. Une étude financée par la Fondation Sasakawa montre que tant les nodosités que l'hyperthyroïdie sont plus fréquentes dans la province de Gomel, la plus fortement exposée aux retombées, tandis que d'autres manifestations sans rapport avec les rayonnements sont apparues avec une fréquence du même ordre dans les cinq zones étudiées, ce qui semble indiquer

que l'irradiation est la cause de la forte incidence des nodosités et de l'hyperthyroïdie.

Les données traduisent une forte augmentation des cas de cancer de la thyroïde histologiquement confirmés chez les enfants du Bélarus et de l'Ukraine, après l'accident. L'augmentation est probablement moindre dans la province de Bryansk (Russie), mais des données fiables sur l'incidence des cas vérifiés manquent encore. Le diagnostic de ces tumeurs est confirmé dans bien plus de 90 % des 250 cas au moins du Bélarus et de l'Ukraine par une étude coopérative internationale.

La preuve que l'incidence accrue de ces cancers est due aux isotopes de l'iode présents dans les retombées est convaincante, mais indirecte. La preuve formelle d'une forte augmentation de tumeurs malignes autres que le cancer de la thyroïde parmi les populations très exposées aux retombées n'existe pas. L'incidence de plusieurs autres types de tumeurs augmente, mais dans une proportion bien moindre que pour la thyroïde; l'augmentation est d'un ordre de grandeur qui rend difficile la distinction entre l'effet réel d'une exposition et celui d'une meilleure méthode de dépistage et de notification.

La fréquence du cancer de la thyroïde résulte, selon toute probabilité, de l'exposition aux radioiodes. Ces isotopes, présents en grandes quantités dans les retombées, sont très activement concentrés par la thyroïde, de sorte que la radio-exposition de cet organe est plusieurs fois supérieure à celle d'autres tissus. La preuve formelle d'un rapport causal entre cette radio-exposition et l'apparition du cancer de la thyroïde fait défaut, mais les présomptions sont très fortes et l'on n'a pas d'autres explications valables à offrir.

Il est impossible de prévoir avec certitude si le haut risque relatif d'apparition de ce type de tumeur demeurera à son niveau actuel; cinq ans d'observation ne suffisent pas. Si la latence des carcinomes folliculaires est plus longue que celle des papillaires, leur incidence augmentera. Dans le cas d'irradiation externe, le risque relatif augmenterait jusqu'à 20 ans après l'exposition, puis diminuerait, mais un risque accru persiste pendant 40 ans et il serait prudent d'en tenir compte pour déterminer l'incidence probable dans l'avenir parmi les populations exposées.

Si l'on évalue le risque futur à partir des tendances actuelles dans les régions exposées, à l'aide d'un modèle de risque relatif, l'incidence parmi les sujets exposés pendant leur enfance dans la province de Gomel sera environ 200 fois plus élevée qu'au Royaume-Uni. Toutefois, maintes incertitudes subsistent et il est impossible de prévoir exactement la fréquence des carcinomes de la thyroïde. Il serait prudent de planifier le dépistage et les soins en comptant sur une forte augmentation éventuelle.

Chez l'adulte, le carcinome de la thyroïde est relativement peu agressif et n'est fatal que dans une minorité de cas. Chez les très jeunes enfants, il est

RADIOGRAPHIE DE LA COOPERATION TECHNIQUE

Agence internationale de l'énergie atomique



Décembre 1996 vol. 2, n° 3

SOMMAIRE

Relance de l'agriculture 1

Techniques nucléaires d'épuration . 1

Juguler la pollution 4

L'AIEA: soigner l'environnement . 5

Coup d'œil dans la serre 6

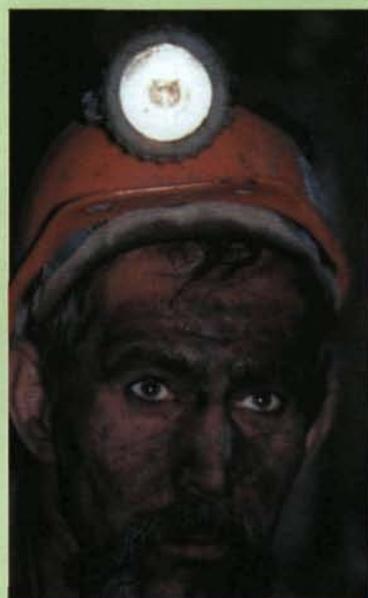
En bref 7

Chasse à la pollution 8

Techniques nucléaires d'épuration des fumées de charbon

L'air pur est un luxe à Szczecin, ville industrielle du nord de la Pologne, proche de Gdansk. La forte consommation de charbon de basse qualité pour produire de l'électricité rejette dans l'atmosphère de grandes quantités d'anhydride sulfureux (SO_2) et d'oxydes d'azote (NO_x). Les forêts avoisinantes en souffrent directement et la fréquence des affections des voies respiratoires augmente de façon alarmante.

La combustion, notamment du charbon et du mazout, produit des aérosols de SO_2 et de NO_x qui se transforment dans l'atmosphère en acide sulfurique et acide nitrique, respectivement, sous l'effet de la lumière: les «pluies acides» endommagent la végétation et les bâtiments, et les aérosols contribuent, pense-t-on, à l'«échauffement de la planète». La plupart des pays se sont engagés à y mettre un frein et de récents traités les enjoignent d'appliquer des lois



*En Pologne, des milliers d'emplois dépendent d'un usage propre des charbons nationaux.
(Photo: PAP/CAF R. Koszowski)*

limitant les émissions de CO_2 sur leur territoire.

suite page 3

Relance de l'agriculture dans les régions contaminées

A maints égards, la vie semble normale dans les campagnes du Bélarus et d'Ukraine touchées par l'accident de Tchernobyl de 1986, mais les apparences sont trompeuses: il est virtuellement impossible d'écouler les denrées récoltées dans ces régions: elles contiennent des radionucléides et, bien que les concentrations soient souvent très inférieures aux limites prudentes fixées par le Codex Alimentarius de la FAO/OMS, le public continue de les refuser.

L'AIEA a lancé des projets de coopération technique dans les deux pays

pour tenter de résoudre ces problèmes en proposant des cultures de remplacement et de nouvelles techniques. Au Bélarus, l'idée consiste à promouvoir la production du colza pour en extraire des lubrifiants industriels (graisses, huiles et autres produits). Les scientifiques du pays ont constaté

que les radionucléides présents dans le sol — césium 137 et strontium 90, en l'occurrence — s'accumulent dans les tiges et la balle de certaines variétés de colza, et non dans les

suite page suivante

graines. L'huile extraite est facilement convertie en combustibles biologiques. Le Bélarus possède des raffineries et, en conséquence, la technologie et les compétences nécessaires à cette opération.

Le projet de l'AIEA a commencé en 1995 par une aide à son principal homologue, l'Institut du Bélarus pour la recherche en pédologie et agrochimie, en vue de déterminer les variétés de colza très productives et cultivables dans les meilleures conditions. Ces qualités sont essentielles car, sur les 200 000 hectares qui conviennent au colza, 40 000 seulement sont ensemencés chaque année vu le cycle quinquennal de rotation des cultures.

Quelques grandes questions attendent une réponse: Que faire avec les tiges? Les enfouir ou les incinérer? Peut-on traiter la balle riche en protéines pour en faire de la nourriture animale qui remplacerait certains concentrés alimentaires onéreux actuellement importés? Faut-il considérer le colza simplement comme une sorte d'extracteur naturel de radionucléides et en semer un peu partout?

Au cours des prochaines années, le Bélarus, toujours avec l'aide de l'AIEA, étudiera la question. Une usine pilote s'impose pour produire les lubrifiants. Un laboratoire produit déjà quelques graisses mises à l'essai à l'Université technique de Vienne, comme prélude à la production industrielle. L'Union européenne serait le principal bailleur de fonds.

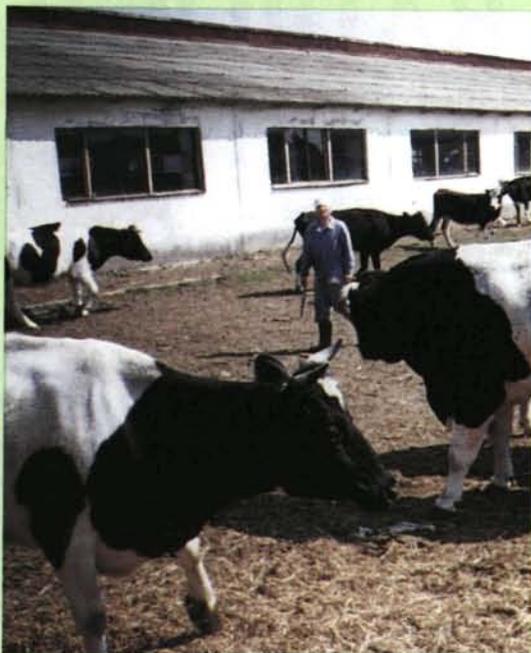
En Ukraine, l'AIEA s'occupe sérieusement de la production de lait et de produits laitiers de l'usine d'Ovruch — cité historique à 100 kilomètres à l'ouest de Tchernobyl — où l'on traitait autrefois 550 tonnes de lait par jour. Depuis l'accident, la production a baissé considérablement, car l'effectif des vaches laitières a diminué dans la région et le lait provenant des zones touchées est contaminé à divers degrés par les radionucléides. Le projet attaque sur deux fronts: premièrement, déterminer la teneur en radionucléides du lait de toute origine livré à l'usine, afin que le Ministère de l'agriculture puisse repérer les fermes qui produi-

sent du lait contaminé et faire corriger les pratiques à la ferme; deuxièmement, à l'usine même, mesurer les niveaux de contamination du lait et autres produits pendant le traitement en masse.

L'usine reçoit du matériel de laboratoire et le personnel est formé à l'emploi des instruments de détection et de mesure du césium 137 et du strontium 90 présents dans le lait à la livraison et dans les produits après traitement. Le directeur, Anatoliiy Kushnirchuk, est optimiste: la vache laitière prospérera dans les régions contaminées si, outre l'assistance aux éleveurs, le lait contaminé est traité à l'usine de façon à obtenir des produits sans radionucléides.

Une technologie, la séparation magnétique, a été récemment mise au point par des scientifiques de Bristol (Royaume-Uni) pour extraire les radionucléides des eaux contaminées par les installations nucléaires. Le brevet est exploité par la Société Selentec d'Atlanta (Etats-Unis). Le procédé «fonctionne à merveille pour l'eau... rien ne reste», dit un expert. Un essai en grand sur le lait contaminé, aux Etats-Unis, a confirmé son efficacité. Les essais sur place, en Ukraine, ont aussi fait leur preuve. Une réduction de 95 % de la teneur en césium 137 rend le lait de nouveau consommable. Les Etats-Unis sont prêts à investir 1,5 million de dollars dans une usine pilote à Ovruch.

Grâce à la séparation magnétique, cette dernière préparera des produits laitiers en quantité et accroîtra sa production de jus de fruits et d'aliments pour nourrissons. Environ 1,5 million d'enfants en bas âge en bénéficieront et, comme les aliments pour nourrissons sont actuellement «importés» d'autres régions, il en résultera des économies substantielles sur les frais de transport.



*Grâce à deux nouveaux procédés, le lait contaminé des fermes d'Ukraine sera bientôt consommable.
(Photo: E. Voice)*

La remise en valeur des terres contaminées et une production vendable ne feront que commencer à résoudre le dilemme économique des zones rurales. Le colza et les produits laitiers promettent le renouveau des communautés rurales si durement éprouvées depuis dix ans.

La solution est de remplacer le charbon par d'autres sources d'énergie primaire telles que l'hydraulique, le gaz naturel ou le nucléaire. Or, ces options ne sont pas à l'ordre du jour en Pologne: il n'y a pas d'énergie hydraulique exploitable ni de réserves suffisantes de monnaies fortes pour importer du gaz naturel de Russie, et le programme nucléo-électrique est différé *sine die*. Pour l'avenir prévisible, la Pologne doit compter sur ses énormes réserves de lignite évaluées à plus de 14 milliards de tonnes. De fait, des centaines de milliers d'emplois dépendent de leur exploitation.

Le problème clé consiste à empêcher que la nouvelle vague industrielle endommage l'environnement comme par le passé, et à s'assurer que les émissions de gaz sont conformes aux normes européennes. La législation polonaise promulguée au début des années 90 exige de l'industrie qu'elle réduise progressivement ses émissions de CO₂ à partir de 1997. Il existe des techniques pour extraire soit SO₂ soit NO_x des fumées de charbon avant leur rejet dans l'atmosphère, mais aucune, jusqu'à présent, n'a réalisé la double extraction.

Une centrale au charbon de Szczecin a été choisie aux fins d'un projet modèle de coopération technique de l'AIEA pour faire la démonstration, à l'échelle industrielle, d'une nouvelle technique qui, précisément, y parvient: l'épuration électronique à sec. Les fumées passent dans une enceinte où elles sont exposées à un faisceau d'électrons de faible énergie provenant d'un accélérateur, pour être rejetées ensuite par les cheminées. Le SO₂ et les NO_x toxiques sont chimiquement transformés par l'addition d'ammoniaque en une poudre sèche, sous-produit utilisable comme engrais. D'autres systèmes d'épuration ne présentent pas cet avantage et produisent beaucoup de déchets. Bien qu'il s'agisse d'une technique nucléaire, l'opération ne provoque aucune radioactivité et ne laisse aucun rayonnement résiduel.

Le procédé a été mis au point il y a une vingtaine d'années, essentiellement en Allemagne et au Japon. Il est

nouveau seulement en ce sens qu'il n'a pas été appliqué industriellement, sauf dans des installations de démonstration en Allemagne, aux Etats-Unis et au Japon. Lorsque, vers le milieu des années 80, il est sorti du laboratoire pour un usage industriel, le secteur énergétique de ces pays, très réglementé, avait déjà muni la plupart des centrales au charbon d'autres dispositifs d'épuration éprouvés ou s'était engagé à installer des chaudières améliorées moins polluantes.

D'après les études faites en Allemagne, aux Etats-Unis et au Japon, ainsi qu'en Pologne où un précédent projet de coopération technique de l'Agence avait installé près de Varsovie, en 1988, une usine pilote avec épuration électronique, le procédé est de 25 à 30 % moins cher à installer et à exploiter que les systèmes classiques. Il aura tous ses atouts lorsque l'extraction des NO_x deviendra obligatoire. L'intérêt du sous-produit pour l'agriculture et les moindres quantités de déchets à gérer ne le rendent que plus souhaitable.

L'épuration électronique intéresse le secteur polonais de l'énergie, les pays voisins et les pays en développement qui s'industrialisent rapidement et disposent d'importantes réserves de charbon. L'Ukraine est en train de l'installer et l'Agence vient de lancer un projet de coopération technique pour son adoption éventuelle en Bulgarie.

La Pologne a ouvert les portes de la centrale de Szczecin et l'Agence peut y amener des visiteurs d'autres pays, curieux de voir cette technique à l'œuvre. La Chine, notamment, prévoit d'installer des épurateurs dans une soixantaine de ses centrales et vient de passer un contrat avec une société japonaise pour équiper l'une d'elles du nouveau système. La Corée (République de), l'Inde, l'Indonésie, la Malaisie, Singapour et la Thaïlande

s'y intéressent également. En Amérique latine, le Brésil, le Chili et le Mexique ont élaboré des projets pilotes et suivent de près l'expérience de Szczecin.

Le Gouvernement polonais apporte 60 % des 20 millions de dollars nécessaires à la mise en œuvre du système et assume tous les frais de personnel et d'exploitation. Les 40 % restants sont partagés entre la Corée (République de), le Japon et l'AIEA. Il est possible que les Etats-Unis et la Suède contribuent également. L'installation pilote devrait être entièrement opérationnelle à la fin de 1998. Elle devrait



De nombreux pays en développement s'intéressent à l'épuration électronique mise à l'essai à Szczecin. (Photo: M. Samiei/AIEA)

permettre à la Pologne d'atteindre les normes européennes d'émission sans compromettre sa croissance industrielle, et prouver au secteur de l'énergie qu'il existe une technique douce et rentable pour l'environnement. Actuellement, la restructuration et la privatisation de l'industrie influent sur le secteur de l'énergie et, en fin de compte, l'économie et l'efficacité de l'épuration électronique décideront peut-être aussi de son avenir en Pologne et dans maints autres pays en développement.

Juguler la pollution des eaux

Mettre les ressources de l'eau à l'abri d'une pollution dangereuse et coûteuse d'origine chimique, biologique et radiologique est au premier rang des priorités de l'environnement mondial. En collaboration avec plusieurs organismes nationaux et multilatéraux, l'AIEA a entrepris des études scientifiques spécialisées d'une importance décisive pour prévenir les dommages irréversibles causés au lac Manzala, en Egypte, et à la mer Noire.

Le lac Manzala est une lagune qui s'étend sur 50 kilomètres le long de la côte du delta du Nil, au nord-ouest de la ville du Caire et à proximité, à l'est, du canal de Suez et de la ville de Port-Saïd. De grandes quantités d'eaux usées urbaines et de contaminants s'y déversent et finissent dans la Méditerranée. Cette pollution menace la santé et la subsistance même de millions d'habitants d'une région fortement peuplée.

La mesure de la contamination du lac fait l'objet d'une étude préparatoire financée par le PNUD, menée avec la participation active du laboratoire de l'environnement marin (LEM) de l'AIEA, à Monaco, et exécutée en collaboration avec des scientifiques du Centre national de recherches du Caire. Elle implique un ample échantillonnage d'eau, de sédiments et de poissons dans les principales zones contaminées. Le LEM analyse les polluants chimiques, tels les hydrocarbures chlorés ou non et les éléments traces, tâche qui exige un matériel et des compétences très spécialisés.

Les conclusions de l'étude ont permis l'évaluation complète de l'impact écologique sur le lac et l'élaboration d'un projet de marécages artificiels qui empêcheraient les polluants en provenance du Caire de gagner la Méditerranée par l'intermédiaire du delta du Nil. Ce projet du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) coûtera plus de 11 millions de dollars et démontrera que les marécages artificiels sont un moyen économique et écologiquement rationnel de piéger les sédiments et les polluants de source urbaine, industrielle et agricole.

En maints autres points du globe, le LEM a recours à des méthodes analytiques isotopiques pour étudier les problèmes de pollution des eaux douces et des océans. Ce sont de précieux auxiliaires pour détecter les contaminants, radioactifs ou non, suivre leur cheminement tortueux dans l'environnement et examiner leurs effets biologiques.



Echantillonnage de plantes aquatiques pour détecter les contaminants organiques du lac Manzala. (Photo: M. Horvat/AIEA/LEM)

Ces méthodes sont constamment utilisées pour collecter des données sur la pollution de la mer Noire, dont le bassin hydrographique compte quelque 300 cours d'eau venant d'aussi loin que Munich à l'ouest, Minsk au nord et Ankara au sud. Trois parmi les plus grands fleuves d'Europe — le Danube, le Dniestr et le Dniepr — se jettent dans la mer Noire. Leur aire géographique est peuplée de 160 millions d'habitants.

Il y a une bonne trentaine d'années, la mer Noire hébergeait encore une faune (dauphins et phoques, notamment) et une flore abondantes. Dans ses eaux frayaient toutes sortes de poissons, source vitale de protéines pour les six pays riverains (Bulgarie, Géorgie, Roumanie, Russie, Turquie et Ukraine). Des centaines de milliers de vacanciers envahissaient ses plages pour se détendre, nager et se rafraîchir.

Aujourd'hui, la mer Noire est une des étendues d'eau les plus polluées du monde; ses moyens d'entretenir la vie sont considérablement diminués; ici et là, les plages sont fréquemment

interdites pour des raisons sanitaires, la pêche commerciale a pratiquement cessé et le secteur touristique est en crise.

Les gouvernements des six pays riverains ont entrepris une action concertée pour freiner la pollution. Répondant à cette belle initiative régionale, des organismes internationaux d'assistance s'y sont ralliés. En 1993, le FEM a mis en œuvre plusieurs grands projets pour sauver la mer Noire, mais aucun d'eux ne visait directement le principal sujet de préoccupation, la pollution radioactive, et n'envisageait le recours aux radio-indicateurs, pourtant utilisés par le LEM depuis des dizaines d'années. A l'issue d'une réunion à laquelle participaient le FEM, le PNUE, la Banque mondiale et d'autres organismes, l'AIEA a été invitée à faire valoir ses compétences.

Le LEM collabore avec le Centre d'études nucléaires et de formation de Çekmece (Turquie), l'Institut de biologie des mers du Sud de Sébastopol (Ukraine), le Laboratoire de radioactivité ambiante de Roumanie et l'Institut de météorologie et d'hydrologie de Bulgarie. La coopération technique facilite la création de moyens scientifiques locaux et d'un contrôle de la qualité, ce qui permettra de collecter des données de base fiables et représentatives et de doter les établissements bénéficiaires de moyens autonomes de surveillance de la pollution.

Dans deux ou trois ans, les quatre pays participant au projet seront en mesure de doser tous les radio-nucléides importants dans des échantillons marins et d'étudier le comportement des polluants non radioactifs à l'aide de radio-indicateurs. Ils ont en main, pour la première fois, les moyens de savoir où va l'écologie de la mer Noire, autrefois si féconde et généreuse. C'est désormais aux dirigeants, aux entreprises et au grand public de la région qu'il appartient d'exploiter ce bagage scientifique au profit de leur environnement.

L'AIEA: Soigner l'environnement

Dans un quart de siècle, environ 60 % de la population mondiale sera urbanisée. En attendant, nombre de villes, surtout dans les pays en développement, croissent au-delà de la capacité de leur infrastructure au détriment de leur population. Les problèmes écologiques, notamment la pollution de l'eau et de l'atmosphère, la salubrité et la raréfaction de l'ozone, ont de graves répercussions sur la santé humaine, comme on le voit dans les nouvelles mégapoles: à Mexico, la pollution de l'air tue 12 000 habitants par an et, à Bangkok, la forte exposition au plomb des gaz d'échappement a abaissé le quotient intellectuel des enfants.

L'AIEA crée des partenariats avec des gouvernements et des organisations internationales pour évaluer la pollution du milieu et proposer des mesures correctives, et pour appliquer des techniques nucléaires en vue de résoudre les problèmes de façon durable, dans de multiples domaines (étude de polluants à l'aide

de marqueurs isotopiques ou adaptation des accélérateurs d'électrons à l'épuration des fumées des centrales à combustible fossile). Elle apporte aussi une aide technique substantielle aux programmes nationaux de gestion de l'eau, de production d'énergie géothermique et de protection de l'environnement, y compris la réduction de la pollution marine (voir l'encart du précédent numéro).



Scientifiques du LEM prélevant des échantillons dans le golfe Persique. (Photo: LEM)

Protection des océans

Les activités humaines sauvages imposent de fortes contraintes au milieu marin dans maintes régions du monde. Le Caire, São Paulo et Jakarta, par exemple, en vomissant chaque jour des tonnes de polluants dans la mer, transforment les zones

côtières en cloaques où toute vie aquatique devient impossible, et menacent le milieu marin et l'existence même des populations. La connaissance de ces polluants et de leur interaction avec les processus marins naturels facilite la prise de décisions pertinentes en matière de gestion des eaux internationales et de prévention de la dégradation progressive des mers.

Emplois des isotopes en hydrologie et en écologie

Isotopes	Formes chimiques	Applications
^3H $^3\text{He}/^3\text{H}$ ^{85}Kr	H_2O	Indication de l'alimentation récente; taux d'infiltration dans la zone non saturée; mécanismes de transport; écoulement par les fissures, échange avec les matrices; délimitation des zones à protéger
$^2\text{H}/^1\text{H}$ $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	H_2O	Relevés des zones d'alimentation; interconnexion avec les eaux de surface; fuites des aquifères; mécanismes de salinisation; recyclage des eaux d'irrigation; détection des eaux préhistoriques
$^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	HCO_3^-	Détection des eaux préhistoriques; dynamique des eaux souterraines; validation des modèles d'écoulement souterrain
$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	NO_3^- NH_4^+ N_2	Détection des sources de pollution; dénitrification bactérienne
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ $^2\text{H}/^1\text{H}$	CH_4	Détection des sources de méthane
$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	SO_4^{2-}	Processus de pollution des eaux souterraines, acidification; sources de H_2S , salinité; drainage acide des mines; écoulements dans les systèmes géothermiques

Le LEM aide les pays membres à étudier les problèmes de la pollution des océans et des zones côtières. Diverses méthodes analytiques sont appliquées pour évaluer la contamination par les radionucléides, la sédimentation, les concentrations de produits chimiques, la dispersion des eaux, etc. Le programme de formation du LEM, tant au laboratoire que sur les lieux, vise à développer les compétences des pays membres afin que ces derniers soient en mesure de comprendre, de surveiller et de protéger le milieu marin. Le LEM assure aussi un service international de contrôle de la qualité des analyses des polluants marins, radioactifs ou non.

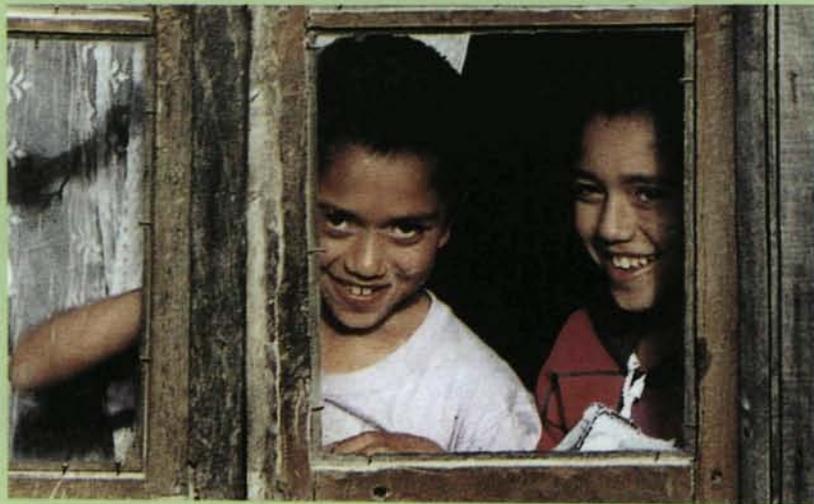
Coup d'œil dans la serre

Depuis longtemps déjà, les techniques isotopiques sont de précieux auxiliaires pour l'étude des eaux souterraines et la gestion des ressources en eau et, plus récemment, elles aident aussi à analyser l'échauffement de la planète et les changements climatiques.

Le bassin amazonien s'étend sur plus de 6 millions de km² où foisonne à peu près la moitié de la forêt tropicale mondiale. Ce gigantesque évaporateur héberge quelque 80 000 espèces végétales et peut-être 30 millions d'espèces animales, pour la plupart des insectes. L'Amazonie collecte à lui seul 20 % des eaux fluviales du monde entier, mais la déforestation accélérée menace gravement cet écosystème sans égal et, par tant, l'équilibre écologique mondial.

L'AIEA analyse le phénomène depuis plus de dix ans et a décidé, en 1985, d'aider la recherche écologique au Brésil. L'étude isotopique des effets des changements de destination des sols sur l'écologie et le climat de l'Amazonie a mobilisé quelque 80 scientifiques d'instituts brésiliens de toutes disciplines. L'Agence a fourni du matériel de laboratoire et envoyé des experts pour coordonner les travaux et conseiller les homologues locaux, dont 23 ont bénéficié d'une formation à l'étranger. Cette initiative a été financée pour cinq ans par la Suède et des établissements de recherche non brésiliens y ont également participé. La Division mixte FAO/AIEA et la Section de l'hydrologie isotopique de la Division des sciences physiques et chimiques de l'Agence ont apporté leur appui technique.

Achevée en 1993, l'étude a validé un modèle isotopique régional du transport de l'eau qui a révélé que 50 % des précipitations sur le bassin sont de l'eau recyclée. Cette forte proportion sensibilise le cycle hydrique à la déforestation qui, à cette échelle, modifiera le bilan hydrique régional du fait de la réduction de l'évapotranspiration, d'où un ruissellement accru vers les cours d'eau et une élévation des températures locales. Les modèles climatologiques actuels indiquent, en outre, que la destruction massive



Les données sur les précipitations sont peut-être la clé d'une solution à long terme du problème de l'échauffement de la planète. (Photo: J. Marshall/AIEA)

de la forêt amazonienne sera irréversible, avec de graves conséquences pour le climat non seulement local, mais aussi mondial.

Les activités humaines démesurées (déforestation et production d'énergie), qui risquent de modifier très sensiblement le climat mondial dans le proche avenir, préoccupent les milieux scientifiques. L'échauffement de la planète, par exemple, est causé par les concentrations croissantes des gaz «à effet de serre». Ceux d'origine naturelle — vapeur d'eau et dioxyde de carbone (CO₂) — sont des régulateurs indispensables de la température de l'atmosphère, mais des émissions excessives — surtout de CO₂ dû à l'emploi des combustibles fossiles, et de méthane (CH₄) dû à la production agricole et à la synthèse des chlorofluorocarbures par divers procédés industriels — pourraient provoquer des variations de température et de régime des précipitations et la destruction d'écosystèmes naturels.

Les variations climatiques dues à l'activité humaine semblent encore moindres que celles qui se produisent naturellement. Néanmoins, elles posent un sérieux problème à long terme, car toute modification du bilan radiatif de l'atmosphère influera sur l'évaporation et les préci-

pitations. La recherche nous aidera à bien comprendre les processus complexes qui régissent l'écosystème mondial si elle adopte une démarche intégrée impliquant l'analyse des changements climatiques du présent et du passé. Là encore, les isotopes du milieu sont de puissants moyens.

Le réseau mondial de surveillance des isotopes dans les précipitations, conçu par l'Agence, est devenu opérationnel en 1961 lorsqu'une enquête planétaire sur la composition isotopique des précipitations fut entreprise en collaboration avec l'Organisation météorologique mondiale (OMM). L'opération visait essentiellement à collecter systématiquement des données isotopiques dans le monde entier (oxygène 18, deutérium et tritium) pour déterminer les variations spatiales et temporelles mensuelles des concentrations isotopiques dans les précipitations. Ces données ont été amplement exploitées lors des études hydrologiques associées à l'inventaire et à la gestion rationnelle des ressources en eau.

En bref: Précisions et nouveautés

Le partenariat avec l'Université d'Uppsala prend forme

L'AIEA est membre du conseil du programme scientifique international de l'Université d'Uppsala (Suède) qui favorise la formation de chercheurs dans les pays en développement par l'échange de scientifiques et d'universitaires diplômés en sciences physiques et chimiques, notamment. Elle étudie des arrangements avec l'Université pour renforcer la coopération dans deux domaines.

Pour tirer profit de leur «programme sandwich», les boursiers de l'Agence reçoivent une formation en Suède et dans d'autres pays nordiques dans le

cadre du programme scientifique pour obtenir des diplômes supérieurs, puis retourner dans leur pays enseigner l'application des techniques nucléaires au service du développement scientifique et économique.

Cette formation, parrainée par l'AIEA, est spécialement ciblée sur les pays les moins développés, et 12 candidats d'Ethiopie, de Namibie, du Sénégal, du Soudan et du Zaïre ont déjà été choisis. L'AIEA recherche également la collaboration active de l'Université pour l'exécution de projets de coopération technique dans des domaines d'intérêt commun (surveillance de l'environnement et traitement des eaux usées industrielles).

Les étudiants du troisième cycle dans des disciplines connexes, s'ils sont intéressés, s'adresseront à leur commission nationale de l'énergie atomique, pour plus ample information.

Lâchers de mouches stériles sur tout Zanzibar

Le progrès de la campagne d'éradication a été confirmé ces dernières semaines par l'annonce «aucune capture de mouches sauvages». La colonie de mouches tsé-tsé de Tanga (Tanzanie) compte maintenant 635 000 femelles, ce qui permet de produire plus de 80 000 mâles stériles par semaine. La direction du projet a décidé de procéder désormais à des lâchers aériens sur tout le territoire de l'île (voir «Un fléau du bétail mis en échec», *Radiographie de la CT*, mai 1996).

Lorsque le Directeur général a visité Zanzibar au début de mai, un berger lui a dit que ses bêtes étaient plus saines et plus robustes depuis que la population naturelle de mouches tsé-tsé a diminué.

Coup d'œil dans la serre (suite de la page 6)

Le réseau a débuté avec une centaine de stations météorologiques de prélèvement réparties dans plus de 60 pays et territoires. Quelques années plus tard, il comptait au total 220 stations opérationnelles. La base de données ainsi constituée s'est aussi révélée indispensable en paléoclimatologie et contribue largement à la vérification et au perfectionnement des modèles de circulation atmosphérique.

A l'appui de ces travaux, l'Agence a offert une formation et du matériel concernant les applications des isotopes dans le cadre de 13 projets

de coopération technique exécutés au cours des dix dernières années avec un budget total de 28,1 millions de dollars. Divers ateliers et cours ont formé une bonne centaine de scientifiques d'Etats Membres en développement dans les disciplines pertinentes. L'aide est entretenue par des programmes de recherche coordonnée (PRC) qui assistent les études écologiques nationales. L'Argentine, par exemple, participe avec 13 autres pays à un PRC visant à reconstituer les conditions paléoclimatiques et paléo-écologiques qui régnaient pendant la dernière période glaciaire

(il y a 20 000 ans). La direction de l'équipe argentine est confiée à Hector Osvaldo Panarello, de la Commission nationale de l'énergie atomique, qui a bénéficié d'une formation organisée par l'Agence en Amérique latine en 1991 et 1993. Les premiers résultats de ces travaux sont d'un grand intérêt car ils révèlent une différence de température d'environ 5 °C entre l'holocène et le maximum de la dernière glaciation. Ils sont très importants pour la modélisation du climat mondial.

Chasse à la pollution dans le río de La Plata

La ville de Montevideo est fière à juste titre de ses plages interminables qui s'étirent le long du rivage du río de La Plata. Mais sa gloire est assombrie depuis quelques années car des échantillons prélevés régulièrement ont révélé des concentrations de colibacilles supérieures à 3 000 par décilitre. Cette dose trahit des rejets d'eaux usées dont on ignore toutefois la provenance exacte.

Le río de La Plata est un fleuve peu commun. Ce serait une mer si ses eaux étaient claires et salines. En fait, c'est un immense estuaire alimenté par deux grands fleuves, le Paraná et l'Uruguay, une sorte d'entonnoir inversé où l'eau s'écoule du nord-ouest au sud-est, entre l'Argentine et l'Uruguay, pour se jeter dans l'océan Atlantique. Là où ses eaux d'ocre rouge se mélangent au bleu de l'océan, l'estuaire est large de plus de 100 kilomètres.

La pollution du río de La Plata n'est d'ailleurs pas uniquement d'origine organique. Cette énorme masse d'eau regorge de déchets industriels provenant des centaines de petites tanneries qui bordent la baie, auxquels s'ajoutent les effluents du premier port de l'Uruguay. La plage de Carasco, autrefois très fréquentée, est interdite depuis des années car elle est très polluée. La capitale compte 1,5 million d'habitants dont la plupart vivent à proximité du fleuve où la pêche et les activités récréatives font fureur. Les ressources et l'information qui permettraient de résoudre les problèmes écologiques croissants sont limitées et maintes inconnues subsistent.

Il y a des années, la municipalité a entrepris la construction d'un réseau d'égouts moderne, toujours inachevé. Beaucoup d'eaux usées sont rejetées dans deux petits cours d'eau, le Pantanoso et le Miguelete, qui polluent la baie de Montevideo et le río de La Plata. Le principal secteur aménagé du réseau est équipé d'un dispositif qui a fait ses preuves: un «émissaire» conduit les eaux usées depuis une station côtière jusqu'à plusieurs kilomètres au large, à une profondeur d'environ dix mètres, et les rejette sous une pression calculée



La pollution menace les plages de l'Uruguay. (Photo: J. Marshall/AIEA)

pour les disperser de façon à éliminer les bactéries.

Détecter les mouvements des eaux usées et d'autres polluants dans cette énorme masse d'eau est une épreuve herculéenne de haute technologie. Un projet de coopération technique de l'AIEA entrepris en 1991 fait appel aux techniques isotopiques pour vérifier que la pollution venant de loin dans le courant refoule parfois vers les plages sous l'action combinée de certaines turbulences, des marées, des vents et des courants océaniques. Il confirme d'ailleurs que le système d'évacuation fonctionne bien. Les données obtenues sur la dynamique du fleuve sont utilisées par les ministères de l'environnement, de la santé et de l'industrie et par les autorités municipales de Montevideo, dans leur plan d'urbanisme. Ces services travaillent désormais en coopération avec la direction de la technologie nucléaire (DINATEN), homologue de l'AIEA pour la surveillance de la pollution et l'étude de mesures correctives.

Le projet assure une formation et fournit des connaissances techniques et du matériel spécialisé — des compteurs gamma, un ensemble détecteur gamma, un analyseur automatique d'échantillons et des échantillonneurs d'eau à diverses profondeurs — qui permettent à DINATEN et à la municipalité d'améliorer leurs moyens de surveillance de l'environnement.

L'AIEA lance d'autres projets de coopération technique pour apporter une aide systématique. Tandis que le premier projet concerne surtout les mouvements des eaux, un deuxième, en voie d'achèvement, emploie les indicateurs isotopiques et fluorescents pour étudier le mouvement des sédiments en divers points de l'estuaire et de la côte océanique. Un troisième projet prévu pour 1997 analysera la charge polluante des sédiments dans la baie et ses alentours, ainsi que l'âge des contaminants, afin que les planificateurs sachent ce qui a été rejeté dans ce milieu au cours des dernières trente ou quarante années. Des services d'experts et une formation seront assurés pour armer le matériel hautement spécialisé que sont les dragues avec détecteur, par exemple, et procéder à l'injection et à la mesure des indicateurs. La datation des sédiments à l'aide du plomb 210 sera pratiquée pour la première fois dans l'estuaire.

Les données scientifiques obtenues grâce aux techniques isotopiques étoffent progressivement l'information qui servira aux autorités uruguayennes à formuler des directives écologiques bien fondées et à prendre des mesures énergiques. Ce travail de longue haleine exige un solide partenariat, auquel l'AIEA se voue en Uruguay et dans maints autres pays membres en développement.

RADIOGRAPHIE de la coopération technique est un produit de Maximedia pour l'AIEA. Les articles de cette série peuvent être librement utilisés. Pour tous renseignements, s'adresser à la Section de coordination des programmes, Département de la coopération technique, Agence internationale de l'énergie atomique, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche. Tél: +43 1 2060 26005 Fax: +43 1 2060 29633 CE: foucharp@tcpo1.iaea.or.at

beaucoup plus grave, d'où la nécessité d'un suivi prolongé. Les chiffres pour le Bélarus et l'Ukraine posent un problème majeur en ce qui concerne tant le traitement que notre compréhension du rapport entre l'exposition à des retombées et l'apparition de tumeurs.

La vulnérabilité des très jeunes enfants à cet égard exige un complément d'étude, mais on pourrait d'ores et déjà cibler le dépistage sur les cohortes les plus menacées.

EFFETS SANITAIRES

Rapport du docteur Fred A. Mettler, Université du Nouveau-Mexique (Etats-Unis), président de la séance thématique 1: «Effets observés lors d'examen cliniques», sur les risques sanitaires étudiés au titre du Projet international sur Tchernobyl exécuté en 1990.

Le Projet international sur Tchernobyl (PIT) est exécuté en 1990, environ quatre ans et demi après l'accident. Le volet sur les effets sanitaires est confié à une centaine de médecins et de scientifiques de 12 pays. La tâche est difficile car la vaste zone contaminée s'étend jusqu'à des centaines de kilomètres de la centrale. L'opération comporte une comparaison par groupes d'âge avec des populations voisines non contaminées.

Le PIT est spécialement conçu pour étudier la situation des personnes habitant encore des régions contaminées où elles continuent d'être exposées aux rayonnements; de là, les problèmes urgents d'intervention et de réduction de la dose potentielle. On sait bien que des centaines de milliers de participants aux secours ont été exposés, mais il est impossible en 1990 de réduire leurs doses. La Croix-Rouge internationale et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) dépêchent dans la région des équipes d'évaluation sanitaire pour des opérations relativement mineures qui aboutissent néanmoins essentiellement aux mêmes conclusions que le PIT.

Le PIT fait l'objet de plusieurs publications contenant des généralités et de brefs résumés. Le rapport technique a plus de 500 pages. Son contenu scientifique très détaillé, sa diffusion limitée et son prix découragent maints lecteurs éventuels. Les résumés sont le plus largement diffusés et ce sont eux que le public et les médias connaissent. Les personnes qui s'intéressent sérieusement à la question devraient toutefois lire ce rapport technique approuvé par le Comité consultatif international du projet*.

Il importe d'examiner les conclusions spécifiques de l'équipe du PIT sur les effets sanitaires pour voir dans quelle mesure elles sont toujours valables après cinq années de recherches complémentaires dont les

* *The International Chernobyl Project: Technical Report, STI/PUB/885 (ISBN 92-0-129191-4), publié par l'AIEA, Vienne (1991).*

résultats sont présentés à la conférence internationale sur Tchernobyl d'avril 1996.

L'équipe recueille une foule de renseignements sur diverses questions qui inquiètent les médecins locaux. Nous exposerons ici quelques-uns des problèmes que nous avons abordés et réglés. Les cas d'anémie chez les enfants sont les mêmes dans les secteurs propres et les secteurs contaminés. Le saturnisme préoccupe nombre de parents qui l'attribuent à des émissions possibles de matières accumulées sur le réacteur sinistré. Chez les enfants de tous les villages, les concentrations de plomb dans le sang sont généralement plus faibles que celles rencontrées en Europe occidentale et aux Etats-Unis. Ces conclusions du PIT, parmi d'autres, sont confirmées depuis par d'autres groupes.

Sur le plan immunitaire, il est clair en 1990 que la numération lymphocytaire est inchangée. Le rapport technique précise que l'équipe médicale indépendante n'est toujours pas en mesure d'affirmer catégoriquement l'absence de subtiles variations immunologiques parmi la population mais que, si elles existent, elles semblent être cliniquement peu importantes. Quelques mémoires traitant d'anomalies immunologiques sont présentés à la conférence en avril dernier, mais ils sont loin d'être d'accord en ce qui concerne tant les conclusions que l'évolution dans le temps. Les médias prétendent qu'il existe un «SIDA de Tchernobyl», mais aucun mémoire ni l'opinion générale à la conférence n'appuient cette affirmation.

Le PIT conclut en 1990 à d'assez nombreux ennuis de santé sans rapport avec l'irradiation, tant dans les zones témoins que dans les zones contaminées. Entre 10 et 15 % des sujets examinés nécessitent un traitement d'urgence. L'hypertension et les affections dentaires posent de sérieux problèmes, ainsi que le confirment les travaux d'autres groupes. Au cours des cinq dernières années, la longévité moyenne dans l'ex-Union soviétique diminue pour des raisons sans rapport avec l'irradiation: apoplexie, cardiopathie, accident, suicide et alcoolisme.

Notre équipe s'occupe surtout des enfants. Jusqu'en 1990, les données n'indiquent aucune incidence accrue due à l'irradiation. A la conférence, les commentaires et les mémoires touchant cette question sensible montrent que la plupart des milieux scientifiques pensent que l'irradiation n'a pas eu d'effet, contrairement à l'avis de certains.

D'après les enquêtes psychologiques relevant du PIT, jusqu'à 90 % des habitants des secteurs contaminés ont, ou pourraient avoir, une maladie due à la radioexposition. Il est intéressant de noter que, dans les communautés non exposées, la proportion est de 75 %. Le rapport technique résume la situation psychologique en précisant que les problèmes de cet ordre liés à l'accident sont assez graves, que la plupart des gens sont réellement soucieux mais ne se comportent pas d'une façon irrationnelle vu les circonstances. Ces conclusions sont depuis lors

confirmées par maintes équipes scientifiques et bon nombre des participants à la conférence jugent que tel est bien aujourd'hui encore le principal effet sanitaire.

Les affections de la thyroïde, surtout l'hypertrophie, les nodules et le cancer, restent évidemment des sujets de préoccupation. En 1990, la palpation révèle une hypertrophie chez 3 %, et des nodules chez 0,5 % des enfants. Toutefois, aucune différence statistique n'est notée entre les régions propres et les régions contaminées. Les mémoires des cinq dernières années présentés à la conférence sont rarement d'accord sur le point de savoir si l'incidence des nodules augmente actuellement.

Un important volet du PIT concerne l'évaluation des effets sanitaires dans l'avenir, en particulier de la leucémie et du cancer. Un examen de l'information médicale en 1990 montre que l'incidence du cancer augmente chaque année, aussi bien avant qu'après l'accident, et apparemment de façon constante. Elle continue d'augmenter au même rythme depuis cinq ans, mais le cancer n'est pas la cause principale de la réduction de la longévité récemment observée.

Le cancer de la thyroïde est le grand problème en 1990. La page 510 du rapport technique explique que l'examen des données dont on dispose ne fournit pas de preuves suffisantes pour affirmer une augmentation de la leucémie ou des cancers de la thyroïde à la suite de l'accident. Les données ne sont pas suffisamment détaillées pour exclure la possibilité d'une fréquence accrue de certains types de tumeurs.

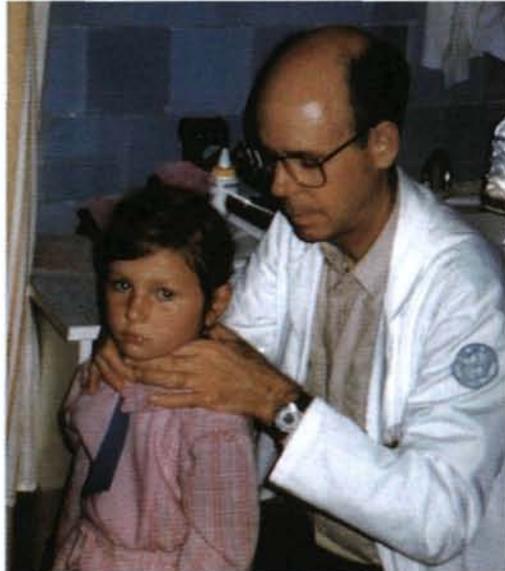
L'équipe est priée d'évaluer les effets sanitaires futurs et à vie. Comme ni les doses exactes reçues par chacune des milliers de communautés contaminées ni les effectifs respectifs de ces dernières ne sont connus, le PIT considère une communauté hypothétique de 10 000 personnes et une dose de rayonnement externe de 0,1 Sv sur 70 ans. Pour ce village type, il prédit près du double de cancers de la thyroïde, une augmentation de 40 % des cas de leucémie et de 3 % de tous les décès dus aux cancers pendant ces 70 ans. D'après le rapport technique du PIT, la plupart des cancers de la thyroïde apparaîtront probablement chez les enfants à cause de la plus forte dose absorbée par leur thyroïde, de leur longévité et de leur plus grande sensibilité par rapport aux adultes; vu les grandes quantités de radio-iodes rejetées lors de l'accident, il faut s'attendre à un excédent radio-induit de cancer de la thyroïde au cours des prochaines décennies; et ce risque est imputable aux doses à la thyroïde reçues pendant les premiers mois après l'accident.

Le PIT indique dans son rapport que «les estimations de la dose à la thyroïde chez les enfants sont telles qu'une incidence accrue du cancer pourrait être statistiquement détectable dans l'avenir» et que «certains groupes à haut risque (par exemple, les enfants dont la thyroïde a absorbé de fortes doses)



devront recevoir un traitement spécifique fondé sur les risques potentiels qu'ils encourent». Mais, étant donné les ressources limitées, il est difficile de suivre tous les sujets exposés et il vaudrait mieux, comme le propose l'OMS, s'efforcer de coordonner les études internationales concernant les populations à haut risque. Cette recommandation n'est pas retenue de sorte que de multiples travaux scientifiques concurrents portent sur les mêmes questions relatives en particulier au cancer de la thyroïde et à la leucémie.

En quelques mots, le PIT est un événement historique. Il représente un effort international sans précédent auquel contribuent des scientifiques, des médecins et de simples citoyens. Les conclusions de notre équipe appellent l'attention sur les points importants. La conférence sur Tchernobyl est, comme son nom l'indique, une «récapitulation des conséquences de l'accident». La question semble réglée. Or, il est évident d'après ce que l'on sait des survivants des bombes atomiques que le bilan définitif de l'irradiation intense de toute une population ne peut se faire en une dizaine d'années,



mais demandera au moins cinq décennies. Les effets sur les enfants et les problèmes psychologiques demeureront au premier rang des préoccupations.

Les médecins de l'équipe sanitaire du PIT examinent des centaines d'enfants de communautés urbaines du Bélarus, de Russie et d'Ukraine. Plus de 100 médecins et scientifiques de 12 pays participent au projet en 1990.
(Photo: Mettler/États-Unis)

EFFETS SANITAIRES A LONG TERME

Rapport de E. Cardis, Agence internationale de recherche sur le cancer (France), secrétaire scientifique de la séance thématique 3: «Effets sanitaires à long terme»; A.E. Okeanov, Centre de technologie médicale (Biélorus), vice-président de la séance; et V.K. Ivanov, Centre de recherche radiologique médicale (Fédération de Russie), et A. Prisyazhniuk, Centre scientifique de médecine nucléaire (Ukraine), tous deux membres du Comité d'experts pour la session.*

Si l'expérience acquise avec les survivants japonais des bombardements atomiques et avec d'autres populations exposées est toujours valable, le gros de l'impact radiologique probable de l'accident de Tchernobyl sera l'apparition de cancers mortels. L'incidence à vie des cas excédentaires de ces derniers sera maximale parmi les «liquidateurs» (membres des équipes de secours et de remise en état à l'œuvre en 1986-1987) et parmi les résidents des territoires contaminés. L'évaluation de ces cas est très incertaine car on connaît mal les doses individuelles et le degré précis des effets à long terme des faibles doses. Pour le moment, nos meilleures estimations sont les suivantes: environ 2 000 cancers mortels excédentaires pendant la vie des quelque 200 000 liquidateurs, et environ 4 600 parmi les 6,8 millions de résidents des régions contaminées. Il serait extrêmement difficile en épidémiologie de distinguer des augmentations de cet ordre dans une incidence spontanée probable de 41 500 et 800 000 cancers mortels parmi ces deux groupes, respectivement.

D'après les données sur d'autres populations radioexposées, le plus fort impact radiologique prévu à ce jour (pour les dix premières années après l'accident) est la leucémie, en particulier parmi les liquidateurs. De fait, si l'expérience acquise avec les survivants japonais de la bombe est applicable, l'incidence accrue devrait être détectée par une étude

épidémiologique. Les rapports sur la montée de la leucémie sont assez contradictoires et, de surcroît, difficiles à interpréter: tous les cas ne sont pas encore vérifiés et l'augmentation pourrait résulter d'une surveillance plus stricte de ce groupe et du dépistage moins systématique parmi la population au moment de l'accident. Les rapports actuels ne portent que sur deux années et aucune augmentation cohérente n'est signalée jusqu'à maintenant.

Une incidence accrue des cancers de la thyroïde parmi les personnes exposées dans l'enfance est observée dans les régions les plus contaminées du Biélorus, de la Fédération de Russie et de l'Ukraine, dans des proportions bien supérieures à ce que prévoyaient les premières études. La cause serait une sensibilité particulière de la population due à des facteurs individuels ou environnementaux; une sous-estimation des doses à la thyroïde; ou un effet carcinogène accru des radio-iodes de très courte période. De nouveaux cas sont signalés chez les liquidateurs et l'ensemble de la population; pour les raisons indiquées ci-dessus, il faudrait les vérifier avant de les imputer à l'accident.

Les fluctuations ou les augmentations de l'incidence du cancer dans le temps ont tendance à être attribuées à l'accident. N'oublions pas la fréquence accrue de divers néoplasmes dans certains pays au cours des dernières décennies avant l'accident et l'accroissement général de la mortalité, dans maintes régions de l'ex-URSS, il y a quelques années, sans rapport apparent avec une irradiation. Il faut en tenir compte lors de l'interprétation des résultats.

Signalons l'incidence accrue d'un certain nombre d'affections non spécifiques autres que le cancer parmi des populations exposées, notamment dans le groupe des liquidateurs. Il est difficile d'interpréter ces constatations parce que les populations exposées sont suivies médicalement beaucoup plus activement que le reste de la population.

Des expériences faites sur des animaux laissent supposer une fréquence accrue de troubles héréditaires à la suite d'une radioexposition. D'après les résultats, les effets génétiques radio-induits par l'accident seraient très rares, de 0 % à 0,03 % de tous les nouveau-nés vivants et de moins de 0,1 % à 0,4 % de tous les troubles génétiques parmi les nouveau-nés vivants des populations exposées.

Quant aux prédictions des effets sanitaires probables de l'irradiation due à l'accident, les estimations actuelles des doses aux populations exposées sont peu fiables; en particulier, les doses reçues immédiatement après l'accident sont mal connues. L'exposition des populations diffère, quant à sa nature et à sa distribution, de celle des survivants japonais de la bombe. Les prédictions issues de l'étude de ces dernières sont donc incertaines. L'incidence accrue des cancers de la thyroïde chez les enfants était, certes, attribuée à l'accident, mais son ampleur n'était pas prévisible. L'accident date de dix ans seulement et, d'après l'étude épidémiologique

* Les auteurs remercient de leurs contributions: L. Anspaugh, Laboratoire national Lawrence Livermore (Etats-Unis), membre du Comité d'experts, ainsi que les consultants K. Mabuchi, Fondation pour la recherche sur les effets des rayonnements (Japon), et I. Lichtarev, Centre scientifique pour la radiothérapie (Ukraine).

d'autres populations, aucune augmentation de l'incidence des cancers autres que la leucémie n'est détectable dix ans au moins après l'exposition. Aussi est-il indispensable de maintenir la surveillance sanitaire pour évaluer l'impact de l'accident sur la santé publique, même s'il est difficile de distinguer la fréquence accrue des cancers radio-induits (à l'exception de la leucémie chez les liquidateurs et des cancers de la thyroïde).

Une étude épidémiologique d'un choix de populations et d'affections est nécessaire pour analyser les effets observés ou prédits; un examen approfondi donnerait de précieux renseignements sur l'effet des débits et des types d'exposition dans la gamme des doses faibles et moyennes et sur les facteurs qui influent éventuellement sur les effets de l'irradiation, et conditionnerait dans une large mesure la radio-protection des patients et de l'ensemble de la population en cas d'exposition accidentelle dans l'avenir. Pour l'analyse des rapports de dose, un contre-examen de cohortes et de cas est plus efficace qu'une étude descriptive. Pour être valable, cependant, l'étude des conséquences de l'accident doit porter sur un très grand nombre de sujets exposés; le suivi doit être systématique et non sélectif; et des estimations précises des doses individuelles (ou d'indicateurs de l'exposition) sont impératives. Plus spécialement, pour qu'une étude épidémiologique soit possible et valable, il faut disposer de bonnes statistiques démographiques et pouvoir

grouper sur un seul sujet l'information provenant de différentes sources.

Dix ans après l'accident, à part l'augmentation spectaculaire des cancers de la thyroïde chez les personnes exposées dans l'enfance, aucune preuve n'existe d'un impact sanitaire important sur le public dû à la radioexposition dans les trois pays les plus touchés, d'un accroissement important de l'incidence de tous les types de cancers et de la mortalité imputable à l'accident ni, en particulier, d'une augmentation importante de la fréquence des leucémies — une des préoccupations majeures après une radioexposition — même parmi les liquidateurs, ce qui s'accorde bien avec les prédictions fondées sur l'étude d'autres populations radioexposées, notamment des survivants japonais des bombardements atomiques.

Conférence de presse à l'occasion de la Conférence internationale sur Tchernobyl où les effets sanitaires de l'accident ont retenu toute l'attention.

(Photo: Pavlicek/AIEA)



MESURES CORRECTIVES AGRICOLES

Rapport de John I. Richards, chef du Laboratoire FAO/AIEA d'agronomie et de biotechnologie, représentant de la FAO à la conférence internationale sur Tchernobyl; Raymond J. Hance, chef de la Section des produits agrochimiques et des résidus de la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture.

Une des leçons de Tchernobyl est que l'agriculture souffre des effets d'un accident nucléaire à des centaines, sinon des milliers de kilomètres de distance. Il faut intervenir pour réduire la contamination des produits agricoles, que le pays intéressé ait ou non un programme nucléaire. Le premier souci est de réduire au minimum la contamination radioactive des récoltes et des produits d'origine animale, et de rétablir la fertilité des sols autant et dès qu'on le peut. Les mesures prises compensent les coûts assumés par l'Etat et les perturbations de la vie quotidienne par des avantages pour la santé publique et le bien-être des communautés. Les directives spécifient les niveaux de radioactivité de la nourriture de l'être humain et du bétail exigeant une intervention et comportent des dispositions pour protéger l'agriculture dans les diverses situations qui résultent de l'accident.

Les critères servant à fixer ces niveaux d'intervention sont internationaux. La législation sur l'alimentation fixe les niveaux de contamination à ne pas dépasser et ne fait pas de distinction entre les contaminants (résidus de pesticides, métaux lourds, mycotoxines, micro-organismes pathogènes ou radionucléides). Aux faibles niveaux qui comportent peu de risque pour la santé ou sont difficiles à éliminer totalement, une limite précise pour une application aisée permet néanmoins de commercialiser et de consommer les denrées.

La Commission FAO/OMS du Codex Alimentarius a élaboré des normes internationales de contamination radioactive applicables aux denrées alimentaires du commerce international (voir le tableau). Nombre de pays les ont incorporées à leur législation nationale: le caractère international contribue à la crédibilité des autorités, à la confiance en ces dernières et à la prévention des problèmes qui, sans elles, surgiraient aux frontières entre pays voisins. Les normes du Codex seront d'ailleurs appliquées par l'Organisation mondiale du commerce.

Elles reposent sur plusieurs hypothèses prudentes qui excluent pratiquement tout effet d'une exposition à vie et, en l'absence de denrées alimentaires de remplacement, des valeurs supérieures sont tolérables dans l'immédiat. En revanche, il peut y avoir lieu d'abaisser ces limites, par exemple lorsque le rayonnement externe contribue dans une forte proportion à la dose totale.

En somme, les critères d'intervention doivent laisser passer un maximum de denrées. C'est là un des objectifs importants des mesures agricoles.

Mesures correctives agricoles

Le programme FAO/AIEA sur les techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture combinait trois approches: premièrement, recueillir le plus possible de renseignements et de données d'expérience sur l'accident de Tchernobyl, afin de préparer des directives pour l'action agricole; deuxièmement, aider les Etats Membres concernés à élaborer et à appliquer des mesures particulières; et troisièmement, faciliter la recherche de données servant à compléter les mesures existantes ou à en élaborer de nouvelles.

Guidelines for Agricultural Countermeasures Following an Accidental Release of Radionuclides (Collection Rapports techniques de l'AIEA n° 363, 1994). L'accident de Tchernobyl a beaucoup stimulé la recherche scientifique et ceux qui se sont occupés de ses conséquences ont acquis une grande expérience pratique. Ce rapport technique, préparé par une quarantaine de scientifiques de 19 pays, résume l'information recueillie. Il donne des indications pour l'élaboration de plans d'intervention et propose une stratégie de mise en œuvre de mesures agricoles, accompagnée d'un bref exposé des solutions utiles pour la prise de décisions et de conseils pour l'élaboration de directives nationales spécifiques. (Une traduction en russe est parue sous la cote IAEA-TECDOC-745.)

Pour être efficaces, les mesures de protection du secteur agricole (population, terres, récoltes et cheptel) contre les effets d'un accident nucléaire doivent être planifiées d'avance. Ce rapport technique expose les grandes lignes d'une stratégie pour l'élaboration des plans d'intervention, lesquels devraient spécifier les critères non seulement d'une action rapide à court terme, mais aussi de mesures à long terme très utiles pour entretenir la confiance du public dans la compétence et l'intégrité des autorités.

Il précise que l'élaboration des mesures doit se faire en deux temps. Dans un premier temps, une évaluation générale des mesures de protection éventuelles à partir d'une série de scénarios d'acci-



Dans le sud du Bélarus, dont certains secteurs ont été touchés par les retombées radioactives de l'accident, les petits fermiers prennent des mesures pour réduire les niveaux de contamination du lait, de la viande et autres denrées. Ils sont assistés par des projets financés par le Gouvernement norvégien et par le programme FAO/AIEA. Sur les photos: petite ferme typique de la région; appareils pour confectionner les boulettes alimentaires au «bleu de Prusse» servant à réduire la contamination des vaches par le radio-césium; et spécialistes mesurant la radioactivité gamma du bétail nourri avec ces boulettes. (Photos: Richards/AIEA)



**Niveaux indicatifs de contamination des aliments
par des radionucléides à la suite d'un accident nucléaire,
applicables au commerce international**

Facteur de dose par unité d'absorption	Principaux radionucléides	Concentration (Bq/kg)
Alimentation générale		
10 ⁻⁶	Américium 241, Plutonium 239	10
10 ⁻⁷	Strontium 90	100
10 ⁻⁸	Iode 131, Césium 134, Césium 137	1 000
Lait et aliments pour nourrissons		
10 ⁻⁵	Américium 241, Plutonium 239	1
10 ⁻⁷	Iode 131, Strontium 90	100
10 ⁻⁸	Césium 134, Césium 137	1 000

Note: Ces valeurs ne sont applicables qu'aux radionucléides qui contaminent des aliments du commerce international après un accident, abstraction faite des radionucléides naturels, toujours présents dans l'alimentation. Les niveaux recommandés par le Codex Alimentarius demeurent applicables pendant un an après un accident nucléaire. On entend par accident un événement impliquant le rejet non contrôlé dans l'environnement de radionucléides qui contaminent les denrées alimentaires offertes sur le marché international.

dent crédibles permet d'élaborer les critères pour une action immédiate et de courte durée après l'accident. Une base de données renseigne sur les transferts des radio-isotopes du césium et du strontium entre les sols, les eaux, les plantes, les animaux et les poissons de la région (ces isotopes poseront très probablement des problèmes plus que transitoires à l'agriculture), sur les sols, la météorologie, les préférences alimentaires locales, et sur certaines mesures praticables et leur coût probable. Il faut savoir aussi à quels laboratoires s'adresser pour l'analyse des radionucléides. Le second temps vient après l'accident. La banque de données doit fournir des informations précises sur sa nature et ses conséquences probables. Le choix de mesures spécifiques dépendra souvent de facteurs sociaux et de l'infrastructure de la région.

Le rapport présente ensuite quelques mesures, avec appréciation de leur efficacité, relatives aux effets sanitaires à long terme sur la population. L'impact plus immédiat de la radioexposition sur la faune et la flore n'est pas abordé directement.

Certaines mesures sont applicables avant et pendant le dépôt des retombées: mettre les animaux à l'abri et protéger les magasins de vivres et, si l'on

est prévenu à temps avant les retombées, rentrer le foin, les céréales ou les récoltes de rapport.

Pendant les premières semaines après le dépôt, les mesures visent à réduire l'exposition aux radionucléides de courte période, tel l'iode 131: récolter et engranger, ou retarder l'opération, pour laisser décroître la radioactivité avant la consommation, et convertir le lait contaminé en produits durables (poudre de lait et fromage).

Les végétaux absorbent les minéraux en fonction de l'abondance relative totale de leurs ions respectifs. Lorsque la contamination s'est diffusée dans la biosphère, des mesures plus développées tiennent compte du transfert des radionucléides du sol à la chaîne alimentaire: épandre des engrais potassiques en grandes quantités pour réduire l'absorption du radiocésium, et chauler pour augmenter la teneur en calcium et réduire l'absorption du radiostromium; recourir à des cultures ou des variétés de remplacement qui accumulent moins de radionucléides et substituer notamment les céréales aux légumes à feuilles et aux pâturages; cultiver la betterave à sucre et le colza dont le produit comestible résulte d'un traitement qui réduit la contamination; pour maintenir l'activité agricole là où c'est possible, envisager des cultures non vivrières, comme le lin ou le coton pour leur fibre, le colza pour les lubrifiants et les biocombustibles, et les plantes d'ornement; et, dans les grandes exploitations, procéder à des labours profonds pour enfouir la terre contaminée, à condition de disposer de charrues appropriées.

Pour que la contamination des produits d'origine animale diminue considérablement, il faut donner au bétail des aliments stockés non contaminés ou réduire l'absorption des radionucléides à l'aide du bleu de Prusse (*voir plus loin*), et donner aux animaux de boucherie des aliments non contaminés peu de temps avant l'abattage, puisque la période biologique du radiocésium, par exemple, est de deux à quatre semaines, selon l'espèce. Pour bien faire, il conviendrait de contrôler les animaux sur pied à l'abattoir ou à la ferme pour savoir s'il est nécessaire de les nourrir plus longtemps avec des aliments non contaminés. Quant au gibier, il serait utile de changer la période de chasse là où les animaux ont des régimes alimentaires saisonniers: les champignons et les lichens, susceptibles d'une forte contamination, abondent spécialement en automne, de sorte qu'il ne faudrait pas chasser pendant cette période.

Ce ne sont là que quelques mesures possibles parmi tant d'autres. Or, pour décider d'appliquer ou non telle ou telle d'entre elles, il est indispensable de connaître la nature et l'étendue de la contamination radioactive. Comme l'efficacité requiert une importante infrastructure, le rapport traite de l'organisation dans un long chapitre. Pour terminer, il décrit brièvement les mesures prises par plusieurs pays à la suite de l'accident de Tchernobyl.

Niveau de contamination des herbages (Bq/kg)	Ingestion/jour* (kBq)	Viande		Lait	
		Niveau de césium 137 à l'équilibre (Bq/kg)	Niveau de césium 137 après boulettes (Bq/kg)	Niveau de césium 137 à l'équilibre (Bq/kg)	Niveau de césium 137 après boulettes (Bq/kg)
250	17,5	280	90	112	34
500	36	700	234	280	94
1 000	70	1 400	450	550	186
1 500	105	2 100	700	840	280
2 000	140	2 800	920	1 120	374
3 000	210	4 200	1 400	1 680	560
5 000	350	7 000	3 000	2 800	920
10 000	700	14 000	4 600	5 600	1 860

Comparaison entre les niveaux de contamination des herbages, les niveaux de césium 137 à l'équilibre dans la viande et le lait, et les niveaux de césium 137 dans la viande et le lait après ingestion de boulettes.

* En supposant une consommation quotidienne de 70 kg de fourrages frais par animal.

Assistance à l'intervention dans les régions contaminées

Les mesures nombreuses et variées appliquées au Bélarus, en Russie de l'Ouest et en Ukraine ont permis de réduire très sensiblement les teneurs en radiocésium du lait et de la viande des exploitations de l'Etat et des fermes collectives. Cela dit, nombre de mesures étaient difficilement applicables par les petits fermiers pour des raisons économiques. En 1990, le lait de 50 000 vaches était contaminé au-delà des limites temporaires permises, soit 111 Bq/l au Bélarus et 370 Bq/l en Russie et en Ukraine. Il fallait donc trouver une autre formule, simple, efficace et peu onéreuse.

Une équipe patronnée par le Gouvernement norvégien a mis au point un moyen d'abaisser les niveaux de radiocésium chez les ruminants domestiques et sauvages, fondé sur des préparations au «bleu de Prusse». Le projet est exécuté par l'intermédiaire des Nations Unies, avec la participation de l'Université d'agronomie et de l'Institut de radioprotection de Norvège, de l'Institut de recherche en radiologie agricole de Kiev (Ukraine), de la filiale bélarusse de l'Institut fédéral de radiologie agricole d'Obninsk et de la Queen's University de Belfast (Irlande). Les Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf, la Division mixte FAO/AIEA et la Division de la sûreté nucléaire de l'AIEA ont assuré la coordination et fourni des services d'experts, du matériel et des produits aux principaux établissements homologues des trois pays pour faire des essais dans les villages les plus gravement touchés.

Des expériences concluantes ont été réalisées en 1990-1992 sur plus de 3 000 vaches de 21 communes du Bélarus, 10 000 vaches de 54 communes d'Ukraine et un nombre non précisé de bestiaux dans des villages de Russie. Par la suite, les ministres de l'agriculture concernés ont autorisé l'emploi généralisé du bleu de Prusse pour réduire les teneurs du lait et de la viande en césium 137.

Le terme «bleu de Prusse» désigne collectivement les hexacyanoferrates ferriques; le cyanoferrate ferrique d'ammonium est peut-être le composé le plus communément utilisé pour fixer le césium. Mélangé aux boulettes ou aux pains de sel ou simplement aspergé sur la nourriture, il passe dans le rumen, puis dans l'intestin où il réagit avec le radiocésium pour former un complexe qui s'élimine dans les excréments au lieu de passer dans le sang. Le radiocésium ainsi fixé se retrouve dans les bouses et ne migre que très lentement vers les racines. Selon la dose et le type du composé administré, il est possible de diminuer entre deux et huit fois la teneur en radiocésium du lait et de la viande provenant d'animaux pâturant sur des herbages contaminés, et de réduire considérablement la dose interne au consommateur humain, ce qui permet dans bien des cas d'autoriser les villageois à demeurer dans les zones contaminées, et d'éviter les transferts traumatisants de communautés entières et les frais énormes qui en résultent. Il n'est donc pas surprenant que tant les fermiers que les gouvernements se sont volontiers ralliés à cette solution avantageuse.

En dépit de mesures efficaces prises au niveau des fermes d'Etat et des exploitations collectives, et

Effets des mesures sur les teneurs du lait et de la viande en césium 137

Avantages	Observations
Réduction des doses individuelles	Réduction générale d'environ 60 % (probablement plus de 80 % dans les secteurs où le coefficient de transfert du sol à l'herbe est particulièrement élevé).
Dose collective	Peut-être quelques centaines d'hommes-sieverts; relativement faible à cause des niveaux temporaires extrêmement bas appliqués dans la CEI. Néanmoins rentable.
Production laitière augmentée	Un complément de 50 millions de litres de lait par an respecterait les niveaux temporaires sans devoir distribuer des fourrages et du lait non contaminés.
Alimentation animale «propre» pour la production de lait	La durée de l'alimentation «propre» serait réduite de 40 à 50 jours, d'où une réduction au cinquième de la superficie des pâturages propres nécessaires.
Sociaux/psychologiques	Quelque 50 000 fermiers reviendraient à leurs pratiques culturelles traditionnelles, retrouvant ainsi le bien-être et la qualité de la vie. Mains d'entre eux que guettait la réinstallation pourront rester chez eux.
Compensation	Le nombre d'individus recevant une compensation pour dépassement du critère annuel diminuerait d'environ 50 %.

Résumé des avantages du bleu de Prusse

de la récolte sur des terres auparavant contaminées de denrées alimentaires ayant des teneurs en radionucléides suffisamment faibles pour être acceptables, le public continue de boudier les produits «propres» de cette provenance. Les autorités du Bélarus et d'Ukraine sont donc pressées d'utiliser ces terres à d'autres fins.

Grâce à son programme commun avec la FAO, le Département de la coopération technique de l'AIEA finance un projet au Bélarus pour étudier la possibilité d'y cultiver des oléagineux, principalement le colza: les premières recherches montrent que l'huile obtenue de certaines variétés cultivées sur des terres contaminées par le radiocésium à raison de 15 à 40 Ci/km² est exempte de ce radionucléide (et de radiostrontium); la contamination se limite aux pailles et aux farines résiduelles. En 1995, les autorités du Bélarus ont fait semer environ 20 000 hectares de terres contaminées avec du colza et se proposent de raffiner l'huile pour obtenir des lubrifiants qu'il faut actuellement importer. Si l'expérience réussit, la superficie semencée doublera et même triplera.

L'AIEA aide aussi l'Ukraine à améliorer ses compétences et ses moyens pour mesurer, contrôler et finalement réduire les teneurs des denrées alimentaires en radionucléides. Le programme est centré sur la conserverie laitière d'Ovruch qui traite entre 200 et 500 tonnes de lait par jour, provenant pour la plupart de la région contaminée de Tchernobyl. Les Etats-Unis fournissent un complément de ressources pour mettre à l'épreuve un séparateur magnétique industriel capable de décontaminer le lait liquide.

Acquisition de données. Le programme de coopération technique de l'AIEA aide le Bélarus à se procurer un complément d'information sur la présence et la migration de radionucléides dans les sols, les forêts et les masses d'eau, afin d'évaluer les chances de succès et les délais d'un rétablissement des activités économiques normales dans les régions contaminées.

Exploiter l'expérience acquise

Les calculs du transfert des radionucléides entre les différents compartiments de la biosphère et l'expérience de la lutte contre les effets d'un accident nucléaire concernent essentiellement les régions tempérées, et en premier lieu l'Europe. Toutefois, dans certaines parties du monde, des centrales nucléaires pourraient fort bien contaminer des pays tropicaux en cas d'accident. Un programme de recherche coordonné (PRC) de l'AIEA exécuté par la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets et la Division FAO/AIEA vise à mesurer les facteurs de transfert du radiocésium et du radiostrontium des sols aux principales cultures tropicales et des eaux aux poissons de ces régions. Les résultats aideront à planifier les mesures correctives et à fixer les niveaux admissibles de radionucléides dans les effluents industriels sous les tropiques. Un autre PRC est prévu pour déterminer l'efficacité en milieu tropical des mesures qui ont donné de bons résultats en Europe.

L'étude et la mise en œuvre de mesures agricoles devraient tenir davantage compte de la gestion de l'ensemble de l'environnement contaminé, en particulier des forêts et des masses d'eau, vu les interactions entre ces dernières et les terres agricoles. Des données complémentaires sur les facteurs de transfert, ou au moins un réexamen des connaissances actuelles, sont impératives pour disposer de valeurs secondaires de référence, dites «niveaux opérationnels d'intervention», pour la nourriture animale et les pâturages.

Toute une série de mesures permettent de réduire la contamination de la chaîne alimentaire par le radiocésium. En revanche, il faut encore beaucoup



étudier la contamination par le radiostrontium, tant au laboratoire que sur le terrain, pour améliorer la situation. Par exemple, plusieurs substances ont été proposées pour l'absorption/adsorption sélective du strontium dans les denrées alimentaires, mais les données sont encore insuffisantes pour en recommander une à coup sûr. D'autres solutions, telles que filtres et séparateurs magnétiques pour les liquides, existent sur le marché, mais elles n'ont pas été éprouvées de façon systématique dans les conditions qui règnent dans les zones contaminées.

L'accident de Tchernobyl a révélé la nécessité, pour chaque pays, d'élaborer des mesures agricoles immédiatement applicables en cas d'accident nucléaire, et l'on a beaucoup appris sur l'utilité des nombreuses mesures mises en œuvre et sur l'infrastructure qu'elles exigent. Encore faut-il s'assurer que ces enseignements portent leurs fruits. Cela est particulièrement important pour les régions tropicales, vu que nous avons acquis l'essentiel de notre expérience dans des climats tempérés.

Au Bélarus, un projet de coopération technique de l'Agence étudie l'emploi du colza (à l'arrière-plan) comme culture de remplacement dans certains secteurs contaminés.

(Photo: Richards/AIEA)

QUESTIONS DE SÛRETÉ NUCLEAIRE

Rapport de Luis Lederman, chef par intérim de la Section de l'évaluation de la sûreté du Département de la sûreté nucléaire de l'AIEA, secrétaire scientifique de la séance thématique 7: «Mesures correctives en matière de sûreté nucléaire».

En collaboration avec le Département des affaires humanitaires de l'ONU, l'Agence a organisé, du 1er au 3 avril 1996, une réunion sur la sûreté de la centrale de Tchernobyl afin d'examiner les mesures correctives prises depuis l'accident pour améliorer la sûreté des réacteurs RBMK et de la structure de confinement du réacteur sinistré (le sarcophage). Les résultats ont été présentés à la conférence internationale sur Tchernobyl qui se réunissait la semaine suivante.

Les conclusions de cette réunion relatives à la sûreté des réacteurs du type de Tchernobyl (RBMK) et aux conditions sur le site de la centrale sont résumées ci-après.

Causes de l'accident

Nombre de scientifiques étudient depuis dix ans les événements qui ont provoqué l'accident de l'unité 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl, le 26 avril 1986. On ignore encore certains détails des phénomènes qui se sont produits, mais on en sait suffisamment pour préciser les causes et prendre des mesures efficaces pour éviter la répétition d'une telle catastrophe.

A notre avis, les causes principales de l'accident peuvent se résumer comme suit:

- graves défauts de la conception physique du réacteur et de celle des systèmes de mise à l'arrêt;
- fort coefficient de vide en régime d'exploitation à taux de combustion élevé;
- effet positif de l'arrêt d'urgence dans l'état du réacteur avant l'accident;
- non-incorporation de la marge de réactivité opérationnelle dans la protection du réacteur;
- culture de sûreté insuffisante des organismes responsables, d'où l'incapacité de remédier à de graves défauts, pourtant connus longtemps avant l'accident;

- programme d'essais trop peu raisonné et étudié au niveau de la sûreté technique;
- non-respect des instructions d'exploitation;
- le mode et le matériel d'exploitation exigeaient trop du personnel responsable;
- protection insuffisante contre les accidents plus graves que l'accident de référence.

Sûreté des RBMK

De l'avis général, la conception initiale du cœur et du système de mise à l'arrêt des RBMK comportait de gros défauts. Cela vaut pour toutes les générations de réacteurs de ce type. Entre 1987 et 1991, une première série d'améliorations ont été apportées à tous les RBMK pour corriger les problèmes de sûreté les plus graves qui en résultaient.

Le coefficient de vide a été réduit par l'adjonction de 80-90 absorbeurs, par celle de 43-45 barres de commande manuelle pour accroître la marge de réactivité opérationnelle, et par l'emploi de combustible enrichi à 2,4 %.

Le système d'arrêt d'urgence est plus efficace grâce à l'élimination des colonnes d'eau; l'augmentation du nombre de barres de commande de fond qui s'insèrent dans le cœur en même temps que les barres supérieures après les signaux de déclenchement; l'accroissement de la vitesse d'insertion des barres; un nouveau système de mise à l'arrêt plus rapide; et des signaux supplémentaires pour le système de commande et de sûreté.

L'organisation des opérations a été renforcée en multipliant les calculs et les affichages de la marge de réactivité opérationnelle et en améliorant les règles et procédures d'exploitation. Des progrès ont été faits par ailleurs: installation de postes de mise à l'arrêt à distance, essais non destructifs et formation de personnel sur simulateur. L'exécution de ces travaux varie d'une centrale à l'autre.

Certains problèmes non résolus à ce stade demandent un complément d'étude qui est fonction, en grande partie, de l'évolution des RBMK.

Nul doute que d'importants perfectionnements ont été apportés aux éléments de la sûreté responsables de l'accident de Tchernobyl. Quant aux autres aspects, des améliorations sont en cours ou prévues. Cette seconde vague d'améliorations continue à se heurter à de grosses difficultés financières, problème grave sinon principal en matière de sûreté des RBMK.

Défauts à corriger. L'analyse faite à ce jour montre que les déficiences connues de la sûreté des deuxième et troisième générations de RBMK pourraient être techniquement éliminées *grosso modo* selon le principe de la défense en profondeur. La plupart des mesures à prendre sont déjà définies et internationalement agréées.



La réalisation pratique de l'adaptation des RBMK de la première génération présente plus de difficultés que celle des deuxième et troisième générations. En Occident, on a beaucoup douté de la faisabilité et de la rentabilité des adaptations. Toutefois, dans l'optique actuelle, les programmes en cours traitent la plupart des problèmes de sûreté et prévoient la rectification d'éléments essentiels (systèmes de commande et de protection, systèmes de refroidissement de secours du cœur et confinement partiel). Même s'ils ne retiennent pas toujours les solutions techniques adoptées pour les nouveaux RBMK, ils apporteront d'importantes améliorations. Lorsque l'approche «classique» est difficile, on s'en remet souvent à des «solutions de rechange».

Problèmes particuliers à Tchernobyl

La plupart de ces considérations sur la sûreté des RBMK valent aussi pour la centrale de Tchernobyl. La situation y est cependant particulière, car le site

pose certains problèmes spécifiques concernant la sûreté des autres réacteurs et les conséquences de l'accident.

Bien qu'il soit prévu de mettre prochainement à l'arrêt les trois autres unités, les programmes internationalement agréés doivent être exécutés pour garantir la sûreté de ces dernières pendant le reste de leur durée utile.

Pour ce qui est des conséquences de l'accident, l'inquiétude plane sur le sarcophage édifié autour du réacteur détruit, sur les matières radioactives qu'il contient et sur celles qui sont enfouies sur le site.

Le sarcophage. Son intégrité douteuse n'est pas une mince affaire. Comme les supports essentiels de la structure principale ont été montés par télécommande, sans soudure ni boulonnage, il n'est pas sûr qu'il résiste à des impacts internes ou externes éventuels (contraintes dues au vent, à la neige ou aux séismes). Le risque de le voir s'effondrer en tout ou en partie pendant sa durée utile de 30 ans initialement prévue n'est pas négligeable si l'on ne prend pas de mesures.

Vue aérienne de la centrale nucléaire de Tchernobyl. À gauche, le sarcophage qui renferme le réacteur sinistré.

(Photo: Mouchkin/AIEA)

Aperçu des activités internationales relatives à la sûreté des RBMK

En réponse à une demande de l'ex-Union soviétique, l'AIEA a mis en œuvre en 1992 un programme sur la sûreté des RBMK qui vise à regrouper les résultats des diverses activités nationales, bilatérales et multilatérales pour réaliser un consensus international sur les améliorations nécessaires de la sûreté et les priorités correspondantes*.

Ce programme assiste à la fois les services de réglementation et les organismes exploitants et conditionne les décisions techniques et financières. Il prévoit un large éventail d'activités et, depuis 1992, plusieurs examens et évaluations ont été faits. Pendant sa première phase, Smolensk-3 et Ignalina-2 ont été pris comme RBMK de référence.

Commission européenne. En 1991, un consortium international sur la sûreté des améliorations techniques et de l'exploitation des centrales nucléaires équipées de réacteurs RBMK a été créé sous les auspices de cette commission. Huit pays occidentaux (Allemagne, Canada, Espagne, Finlande, France, Italie, Royaume-Uni et Suède) et trois pays exploitant des RBMK (Fédération de Russie, Lituanie et Ukraine) en font partie. Les questions suivantes ont été étudiées: ingénierie des systèmes et développement d'un accident, systèmes de commande et de protection, physique du cœur, événements extérieurs, qualité de l'ingénierie, expérience d'exploitation, facteurs humains, interface avec la réglementation et évaluation probabiliste de la sûreté (EPS).

Plus de 300 améliorations de la sûreté ont été recommandées. Nombre d'entre elles avaient déjà été jugées utiles par les concepteurs et les exploitants, puis réalisées, tandis que les autres sont nouvelles et tout aussi importantes.

Union mondiale des exploitants nucléaires (UMEN). En 1992, un groupe international d'utilisateurs de réacteurs de fabrication soviétique a indiqué les mesures qu'ils recommandent pour améliorer la sûreté des RBMK. Certains sont déjà prises ou prêtes à l'être et d'autres sont encore en projet.

Banque européenne pour la reconstruction et le développement (BERD). A la fin de 1995, 14 pays et l'Union européenne avaient annoncé leurs contributions au fonds de 245 MECU pour la sûreté nucléaire.

L'assistance fournie à la centrale d'Ignalina comporte du matériel pour inspections en cours d'exploitation, un simulateur intégral, la protection

contre l'incendie et la préparation d'un rapport d'analyse de la sûreté.

L'assistance au RBMK Leningrad concerne un programme d'amélioration de la sûreté, avec fourniture de matériel comme pour Ignalina.

Le projet sur Tchernobyl du fonds pour la sûreté nucléaire prévoit des améliorations à court terme de la sûreté de l'unité 3, dont une inspection en cours d'exploitation, une instrumentation pour la mesure des flux neutroniques et un système de surveillance de l'hydrogène.

Des ressources sont prévues pour des installations de déclassement, notamment une usine de traitement des déchets liquides de faible et moyenne activité, et un dépôt de combustible épuisé.

Programmes bilatéraux.

Suède et Lituanie. Le programme prévoit une aide à l'organisme de réglementation VATESI, une collaboration avec l'industrie nucléaire suédoise et la centrale d'Ignalina, et divers projets techniques. Les domaines d'assistance sont le cadre juridique (examen de la loi lituanienne sur l'énergie), le développement du système de réglementation, l'inspection des matières, la gestion, l'organisation et une EPS du degré 1 (pour la centrale de Barselina).

Les projets techniques concernent la protection contre l'incendie, l'amélioration du système de décompression de la cavité du réacteur et du système de localisation des accidents, le volume de stockage du combustible épuisé, le compactage des déchets, le renforcement de la protection physique de l'installation et la modernisation du système de communication.

Russie et Canada, Allemagne, Etats-Unis, France, Italie, Japon, Royaume-Uni, Suède, Suisse. Les programmes bilatéraux concernent l'élaboration de procédures d'exploitation d'urgence fondées sur les symptômes (Etats-Unis), la protection contre l'incendie, les obturateurs de canaux de combustible, les améliorations de l'instrumentation et de la commande, l'inspection en cours d'exploitation, le système de détection des fuites (Japon), l'analyse des métaux, l'EPS, l'assurance de la qualité, et les codes thermiques, hydrauliques et neutroniques.

L'avenir. On s'accorde à reconnaître que les résultats de l'assistance internationale donnent l'assurance que les principaux défauts et les améliorations nécessaires de la sûreté des RBMK ont été définis.

L'état d'avancement des travaux est très variable d'une centrale à l'autre. Il faut donc faire encore un gros effort pour achever les analyses de la sûreté de chaque centrale et procéder aux améliorations nécessaires.

* Les grandes lignes de ce programme sont exposées dans le *Bulletin de l'AIEA*, volume 38, n° 1 (mai 1996).

Même dans le pire des cas, son effondrement total ne devrait pas avoir d'effets de grande envergure. Sa stabilisation n'en est pas moins une nécessité prioritaire.

L'infiltration d'eau dans le sarcophage peut accélérer la dégradation des masses de combustible en poussière et la corrosion des structures de soutien, et accroître la réactivité de ces masses de combustible. Quant à la contamination des eaux souterraines, le risque n'est pas nul à long terme, mais il est moindre que celui qui serait dû au contact de l'eau avec les matières radioactives enfouies sur le site à l'extérieur.

En ce qui concerne le risque d'un retour à la criticité, le sarcophage est actuellement sûr. Cependant, il existe à l'intérieur des configurations de masses de combustible qui pourraient devenir critiques si l'eau s'en mêlait. A supposer qu'il en résulte une assez forte radioactivité à l'intérieur, il n'y aurait pas lieu de craindre des effets mécaniques ni d'importants rejets hors du site, mais il faudrait étudier l'impact sur le personnel des autres unités.

Les incidences possibles sur la sûreté de la proximité de l'unité 3 pose un autre problème. Le risque est généralement jugé faible, mais les opinions sont très divergentes sur la gravité du risque d'un accident de cette dernière provoqué par un effondrement du sarcophage. La question mérite d'être étudiée plus à fond.

listes tiendraient compte de la situation radiologique et des priorités qui s'imposent en matière de sûreté et d'évacuation des déchets. Il faudrait commencer par stabiliser le sarcophage afin de réduire sensiblement le risque d'effondrement et de se donner le temps de la réflexion pour bien planifier la suite des opérations, par exemple la construction d'une nouvelle enceinte et la gestion des déchets, ce qui impliquerait la récupération au moins partielle des masses de combustible contenues dans le sarcophage et l'évacuation des matières radioactives enfouies sur le site.

Autres problèmes particuliers au site

Il s'agit de la contamination, et plus spécialement des matières radioactives enfouies sur le site. Le type et l'étendue de cette dernière ont été définis. Bien que le débit de dose soit localement très élevé, on peut accéder presque partout. Cependant, les dépôts provisoires de matières fortement radioactives, tel le combustible nucléaire éjecté du réacteur lors de l'accident, empêchent toute reconstruction. Des substances radioactives pénètrent dans les eaux souterraines à cet endroit. La contamination est encore faible, mais elle peut présenter un grand risque à long terme; il est donc impératif d'évacuer méthodiquement ces matières.

Remise en état progressive du site

Sur les lieux, les problèmes sont tels qu'il faudra, pour les résoudre, faire un gros effort pendant longtemps. Il est indispensable d'assurer l'intégrité du sarcophage, de maîtriser définitivement le réacteur détruit, d'évacuer les déchets et de remettre le site en état, et cela coûtera cher.

De l'avis général, la tâche exige une approche intégrée par étapes bien calculées. Des objectifs réa-

STATISTIQUES INTERNATIONALES

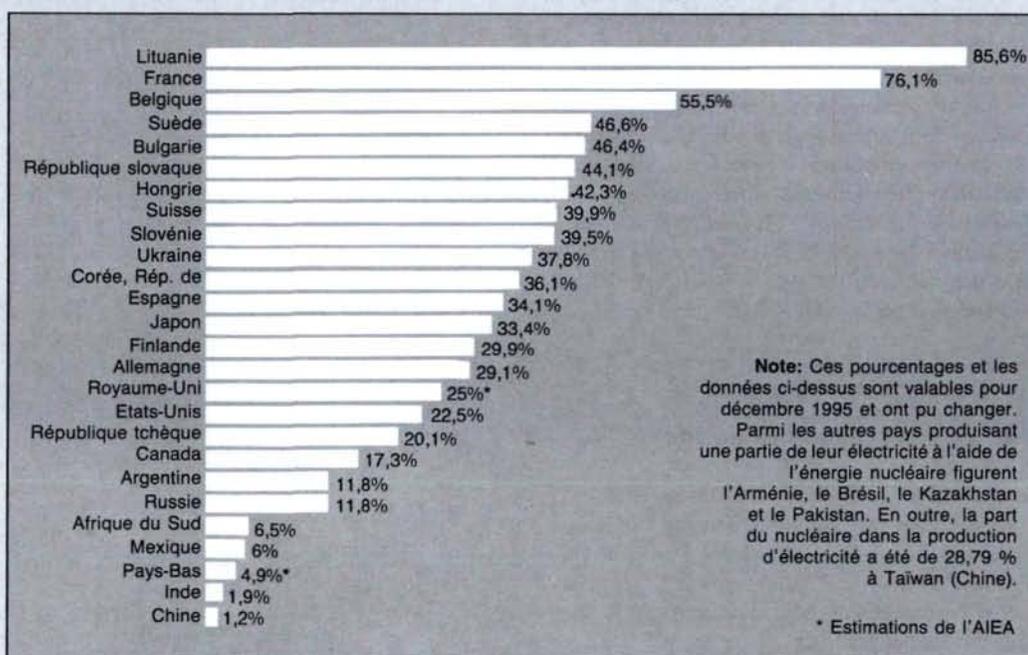
Situation de l'énergie nucléaire dans le monde

	En service		En construction	
	Nombre de tranches	Total MWe	Nombre de tranches	Total MWe
Afrique du Sud	2	1 842		
Allemagne	20	22 017		
Argentine	2	935	1	692
Arménie	1	376		
Belgique	7	5 631		
Brésil	1	626	1	1 245
Bulgarie	6	3 538		
Canada*	21	14 907		
Chine	3	2 167		
Corée, Rép. de	11	9 120	5	3 870
Espagne	9	7 124		
Etats-Unis d'Amérique	109	99 414	1	1 165
Fédération de Russie	29	19 843	4	3 375
Finlande	4	2 310		
France	56	58 493	4	5 810
Hongrie	4	1 729		
Inde	10	1 695	4	808
Iran			2	2 146
Japon	51	39 893	3	3 757
Kazakhstan	1	70		
Lituanie	2	2 370		
Mexique	2	1 308		
Pakistan	1	125	1	300
Pays-Bas	2	504		
République slovaque	4	1 632	4	1 552
République tchèque	4	1 648	2	1 824
Roumanie			2	1 300
Royaume-Uni	35	12 908		
Slovénie	1	632		
Suède	12	10 002		
Suisse	5	3 050		
Ukraine	16	13 629	5	4 750
TOTAL*	437	344 422	39	32 594

Note: En 1995, deux réacteurs ont été mis à l'arrêt (dont Bruce-2, au Canada, provisoirement).

*Ce total inclut Taïwan (Chine) où six réacteurs d'une puissance totale de 4884 MWe sont en service.

Part du nucléaire dans la production d'électricité de quelques pays



La 40ème session ordinaire de la Conférence générale de l'AIEA s'est ouverte le 16 septembre dernier, au Centre des conférences de Vienne. Elle a duré une semaine, pendant laquelle des représentants de haut niveau des 124 Etats Membres de l'Agence ont délibéré sur la politique, les programmes et le budget de l'AIEA.

A l'ordre du jour figuraient les mesures pour renforcer la coopération internationale dans les domaines de la sûreté nucléaire, de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets; le renforcement des activités de coopération technique de l'Agence; le renforcement de l'efficacité et l'amélioration du rendement du système des garanties; les mesures contre le trafic illicite de matières nucléaires et d'autres sources radioactives; le recours intensif à l'hydrologie isotopique pour la gestion des ressources en eau; la mise en œuvre de l'accord entre l'Agence et la République populaire démocratique de Corée; l'application des résolutions du Conseil de sécurité de l'ONU relatives à l'Iraq; la zone exempte d'armes nucléaires en Afrique; l'appli-

cation des garanties au Moyen-Orient; et le programme et budget de l'Agence pour 1997.

Pendant la Conférence, plusieurs activités ont été organisées, dont un programme scientifique spécial à trois volets: le cycle du combustible nucléaire de pointe — nouveaux concepts pour l'avenir; la gestion de l'information à l'intention des Etats Membres — développement de la technologie informatique; et l'évolution des applications des réacteurs de recherche. Une réunion d'information concernait le programme de développement des garanties de l'AIEA. Etait prévue la réunion traditionnelle de hauts fonctionnaires sur la sûreté nucléaire, où l'on a parlé en particulier des résultats de la conférence internationale sur Tchernobyl réunie en avril dernier par l'AIEA en collaboration avec d'autres organisations.

Pour plus ample information sur la Conférence générale, s'adresser à la Division de l'information ou au service Internet *World Atom* sur World Wide Web à l'adresse <http://www.iaea.or.at/worldatom>.

Conférence générale de l'AIEA: 40ème session ordinaire

Un comité du Conseil des gouverneurs s'est réuni pour la deuxième fois en octobre 1996 pour élaborer un projet de protocole visant un droit d'accès complémentaire, pour l'Agence, à des renseignements et à des emplacements, afin de renforcer l'efficacité et d'améliorer le rendement du système des garanties. Il a été créé par le Conseil le 14 juin et s'est réuni pour la première fois du 2 au 4 juillet au siège de l'Agence. L'ambassadeur J. Th.H.C. van Ebbenhorst Tengbergen (Pays-Bas), actuellement président du Conseil des gouverneurs, le préside, et des représentants de 65 Etats, de la Commission européenne et de l'Agence brésilienne-argentine de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires y ont assisté.

Le comité a examiné en première lecture le projet de protocole qui serait annexé aux accords de garanties généralisées pour préciser notamment la nature d'un droit d'accès complémentaire des inspecteurs de l'Agence à des renseignements et à des emplacements nucléaires.

Lorsqu'il le crée, le Conseil juge que des renseignements complémentaires, y compris le prélè-

vement d'échantillons du milieu ainsi qu'un droit d'accès physique élargi, permettront à l'Agence de détecter plus facilement des matières et des activités nucléaires non déclarées. Il souligne l'importance de faire un compromis entre la nécessité pour l'Agence d'accéder à l'information et aux emplacements, d'une part, et celle pour l'Etat de protéger ses intérêts légitimes et de s'acquitter de ses obligations constitutionnelles, d'autre part. Lors de l'application des mesures envisagées, l'Agence est tenue de respecter strictement le caractère confidentiel de l'information obtenue et de l'ensemble du processus de vérification.

Pour faciliter la détection effective, dans les Etats concernés, de matières et d'activités nucléaires non déclarées et pour renforcer l'efficacité du programme des garanties, tous les Etats doivent coopérer. A ce propos, le Conseil remercie les Etats dotés d'armes nucléaires de leur intention d'étudier la meilleure manière de contribuer à l'exécution du programme en cours d'examen.

Application des garanties en 1995. L'AIEA n'a relevé en 1995 aucun indice de détournement

Réunions du Conseil des gouverneurs de l'AIEA

de matières nucléaires ou de mauvais usage d'installations, de matériels ou de matières non nucléaires soumis aux garanties. Aussi a-t-elle conclu que ces articles étaient toujours utilisés à des fins pacifiques ou autrement comptabilisés. Elle a noté, par ailleurs, qu'elle ne pouvait toujours pas vérifier la déclaration initiale de la République populaire démocratique de Corée (RPDC), laquelle ne respecte pas intégralement l'accord de garanties.

A la fin de 1995, des accords de garanties étaient en vigueur dans 125 pays (et à Taiwan, Chine), dont 66 (et Taiwan, Chine) menaient des activités nucléaires soumises à des inspections. Les garanties étaient également appliquées dans cinq Etats parties à des accords bilatéraux ou multilatéraux relatifs à des installations, matériels ou matières nucléaires ou non nucléaires spécifiés, ainsi qu'aux installations désignées par les cinq Etats dotés d'armes nucléaires. Pendant la même année, 554 installations et autres emplacements contenant des matières nucléaires ont été inspectés. Au total, 2 285 inspections, représentant 10 167 journées d'inspecteur, ont été effectuées.

L'AIEA emploie environ 200 inspecteurs hors siège pour cette activité dont le budget de 1995 s'élevait à 88,6 millions de dollars, plus 14 mil-

lions de dollars de contributions extrabudgétaires versés par huit Etats Membres. La plupart des inspections sont faites en vertu d'accords conclus dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP), prorogé indéfiniment en mai 1995.

Autres activités importantes de l'AIEA aux fins des garanties en 1995. L'AIEA continue de maintenir une équipe d'inspecteurs en Iraq et en RPDC. Elle procède à la vérification des matières nucléaires déclarées par le Bélarus, le Kazakhstan et l'Ukraine, Etats nouvellement indépendants issus de l'ex-Union soviétique. Des matières nucléaires du programme de défense des Etats-Unis ont été volontairement soumises aux garanties de l'Agence, en plus de celles qui l'ont été en 1994.

Les activités de l'AIEA relatives aux garanties se sont bien déroulées. Toutefois, plusieurs difficultés d'application ont surgi, notamment des problèmes techniques au niveau des appareils de surveillance et des restrictions d'ordre administratif imposées par plusieurs Etats en ce qui concerne la désignation des inspecteurs et l'obtention de visas de longue durée à entrées multiples pour ces derniers. L'Agence prend des mesures pour les résoudre.

Etude radiologique de Mururoa

Dans le cadre d'une étude radiologique demandée par le Gouvernement français en 1995, des équipes internationales de scientifiques se sont succédées, en juillet et août derniers, sur les atolls de Mururoa et Fangataufa pour prélever des échantillons terrestres et marins (plancton, poissons, eau de mer, sédiments des lagunes, coraux, sol, noix de coco et végétaux), qui seront répartis entre divers laboratoires d'analyse dans le monde entier, y compris la région du Pacifique. Les résultats seront communiqués à l'AIEA, dont les laboratoires à Seibersdorf et à Monaco prélèveront aussi des échantillons pour les analyser. Ceux des études faites par les Français serviront aux comparaisons visant à déterminer la situation radiologique des atolls. Cette partie de l'étude d'ensemble ne sera probablement pas terminée avant six mois.

Indépendamment, des géologues examineront la situation sous l'angle de scénarios futurs possibles, notamment à très long terme, à l'aide de méthodes de modélisation fondées en particulier

sur les caractéristiques géologiques des atolls, l'expérience acquise sur d'autres sites d'essais nucléaires et l'information communiquée par les autorités françaises au sujet de leur série d'essais. Le résultat des travaux sera incorporé aux autres parties de l'étude et rendu public. Le rapport final devrait être publié au début de 1998.

L'étude, annoncée par M. Blix à la Conférence générale de 1995, est exécutée sous la direction d'un comité consultatif international d'éminents scientifiques de dix pays, présidé par E. Gail de Planque (Etats-Unis) et auquel siègent d'office des représentants de la Commission européenne (CE), du Forum du Pacifique Sud, de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR). Le comité se propose de visiter ultérieurement la Polynésie française; une conférence de presse sur l'état d'avancement de l'étude est prévue à cette occasion.

Publié en septembre, le *Rapport annuel* de l'AIEA pour 1995 expose brièvement les résultats obtenus en matière de développement et de sûreté des technologies nucléaires, et de vérification de leurs applications pacifiques. Des progrès substantiels ont été faits dans quelques domaines importants des activités de l'AIEA, plus spécialement dans le sens des réalisations et de l'efficacité.

Le rapport signale les domaines suivants:

Renforcement des garanties. Le Conseil des gouverneurs a accepté le plan du Directeur général visant l'application prochaine, dans le cadre légal actuel, de mesures de renforcement du système de garanties (plus libre accès à l'information et aux sites et emplacements, et optimisation du système grâce à une coopération plus étroite avec les Etats et à l'installation de nouveaux dispositifs de mesure et de surveillance). En décembre, il a procédé à un premier examen des autres mesures proposées dont l'application exigerait un complément de pouvoirs.

Trafic illicite de matières nucléaires. L'AIEA a lancé un programme spécial avec base de données sur les incidents pour disposer d'une information concrète à l'intention des Etats Membres et du public, et des cours ont porté sur la mise en œuvre de systèmes de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires et sur les méthodes et techniques de protection physique. L'aide technique à plusieurs pays Membres a été coordonnée.

Etudes radiologiques. Des études de la situation radiologique sur d'anciens sites d'essais nucléaires ont été faites ou entreprises. L'AIEA a organisé le réexamen de l'atoll de Bikini (îles Marshall), ainsi que l'étude d'une zone du Kazakhstan où des essais d'armes nucléaires ont eu lieu pendant des années. A la demande de la France, elle a pris des dispositions pour évaluer la situation radiologique sur les atolls de Mururoa et Fangataufa.

Sûreté des déchets. Sur l'initiative du Conseil des gouverneurs, un groupe non restreint d'experts juridiques et techniques chargé de préparer un projet de convention sur la gestion des déchets radioactifs s'est réuni deux fois et a fait du bon travail.

Développement durable et énergie nucléaire. Entre autres activités, l'AIEA a organisé en octobre, en collaboration avec neuf autres organisations internationales, un colloque sur l'évaluation comparative à l'intention des décideurs du secteur de l'électricité pour préciser l'information nécessaire à l'adoption et à l'application de directives durables, compte tenu des facteurs économiques, sociaux, sanitaires et écologiques.

Renforcement de la coopération technique. Plusieurs initiatives ont visé à renforcer le pro-

gramme de coopération technique de l'AIEA, lequel doit mieux servir le développement durable, et à améliorer la planification. Un groupe consultatif permanent sur l'assistance et la coopération techniques a été créé et s'est réuni pour la première fois en décembre; il examinera les directives et la stratégie et fera des recommandations à l'AIEA.

Application des techniques nucléaires et des rayonnements. Les programmes d'études et réalisations de l'Agence en matière de technologie nucléaire ont donné d'intéressants résultats. Plusieurs pays ont signalé le succès des techniques nucléaires dans la lutte contre les insectes nuisibles à l'agriculture. Des programmes ont été lancés en collaboration avec l'OMS dans les domaines des soins médicaux et de la nutrition. L'AIEA a entrepris un programme de recherche sur l'emploi des boues d'égouts irradiées pour améliorer les sols et les rendements agricoles et protéger l'environnement. En mars, elle a organisé un colloque sur les problèmes de l'eau et l'application pratique des techniques de gestion des ressources en eaux souterraines.

Sûreté des sources de rayonnements. Pour aider les pays à gérer en toute sécurité les sources de rayonnements utilisées dans l'industrie, en médecine et ailleurs, l'AIEA a publié une documentation informatisée à l'intention des responsables de l'inventaire et de la surveillance des sources radioactives scellées.

Sûreté nucléaire en Europe orientale et dans l'ex-URSS. De bons résultats ont été obtenus grâce à l'aide de l'Agence aux pays de ces régions qui exploitent certains types de centrales nucléaires. Comme les améliorations proposées étaient déjà internationalement agréées, il s'agissait surtout d'en déterminer l'état d'avancement.

On peut obtenir le *Rapport annuel* en s'adressant à la Division de l'information. Une version électronique est également accessible en ligne par le service *World Atom* de l'AIEA sur Internet, à l'adresse <http://iaea.or.at/worldatom>.

**Rapport annuel
de l'AIEA
pour 1995**

Le point du dessalement nucléaire

Un rapport sur l'assistance de l'AIEA aux pays qui manquent d'eau potable a été présenté à la Conférence générale en septembre dernier. Il traite plus spécialement du dessalement de l'eau de mer à l'aide de l'énergie nucléaire. L'Agence a entrepris des études technico-économiques et suit les programmes de dessalement nucléaire de ses Etats Membres, dont la Corée (République de), l'Egypte, la Fédération de Russie, l'Inde, l'Indonésie et le Maroc.

Le rapport signale entre autres l'achèvement de l'étude technico-économique pour l'Afrique du Nord et diverses réunions qui ont eu lieu en 1995 et au début de 1996 pour examiner les progrès de la conception des réacteurs destinés au dessalement et l'expérience acquise dans le monde avec les centrales desservant des réseaux de chauffage urbain et des usines de dessalement. Une expérience d'exploitation de quelque 500 années de réacteurs s'est accumulée dans le monde, pour la plupart dans l'ex-Union soviétique et les pays d'Europe orientale, avec des centrales mixtes ou uniquement thermogènes. Le dessalement nucléaire de l'eau de mer est pratiqué dans deux pays: le Japon et le Kazakhstan. Dans le premier, l'eau dessalée est essentiellement consommée au niveau des cen-

trales, tandis que, dans le second, l'installation alimente une zone résidentielle voisine.

En tout, 22 pays et plusieurs organisations collaborent aux activités de l'Agence visant à aider les pays à produire de l'eau potable économiquement. Pour l'avenir proche, l'AIEA envisage une étude complémentaire faisant suite à l'étude technico-économique pour l'Afrique du Nord et une mission d'experts pour étudier l'infrastructure régionale. La prochaine étape du développement de la technologie pourrait être confiée à un ou plusieurs pays qui élaboreraient les plans d'installation de démonstration.

Par ailleurs, un colloque international sur le dessalement nucléaire prévu pour mai 1997 est organisé par un comité directeur où siègent les représentants de neuf pays et organisations internationales. L'Association internationale pour le dessalement, la CE, le Centre mondial du développement technologique, l'Organisation météorologique mondiale (OMM), l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) ont déclaré leur intention d'apporter diverses contributions à ce colloque.

YOUR LINKS ON THE INTERNET



- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|
| ● IAEA Press Releases | ● Project updates |
| ● Articles from the IAEA Bulletin | ● Agency programmes and nuclear development |
| ● Director General statements | ● Scientific databases |
| ● Topical overviews | ● The IAEA Annual Report |
| ● IAEA meetings | ● Reports and documents |
| | ● Conference reports |

Visit the IAEA's World Atom and TecAtom World Wide Web sites at <http://www.iaea.or.at>. If you want to reach us by electronic mail, the address is iaeo@iaea1.iaea.or.at.

On line, the facts are yours 24 hours a day.

Mexique: séminaire d'information nucléaire

Le Mexique a accueilli récemment un séminaire régional sur l'atome au service du développement, organisé par l'AIEA en collaboration avec la Commission nationale de l'énergie nucléaire, pour commémorer le 40ème anniversaire de celle-ci et le centenaire de la découverte de la radioactivité. Y étaient invités des journalistes, des personnalités officielles et des responsables de l'information nucléaire du Mexique et d'autres pays de la région, dont Cuba, l'Equateur, le Panama et le Venezuela. Environ 500 participants ont assisté aux séances organisées du 18 au 20 juin au siège de la Commission, dans la banlieue de Mexico, et au Colegio de Ingenieros.

Dans son allocution d'ouverture, M. Blix a énuméré des projets en cours (au Mexique et dans d'autres pays) qui montrent le rôle pratique et potentiel des techniques nucléaires à l'appui d'un développement qui respecte l'environnement. Il a aussi participé à un programme spécial comportant un entretien avec M. Ernesto Zedillo, président du Mexique.

D'autres orateurs ont abordé divers sujets (emploi de l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité, sûreté des techniques radiologiques, applications des radio-isotopes en agriculture, en hydrologie et en médecine, transferts de technologie grâce au programme de coopération technique et aspects régionaux de la non-prolifération nucléaire). Le séminaire relevait d'un programme extrabudgétaire d'information financé par le Japon.

Pérou: la TIS intéresse

La technique de l'insecte stérile (TIS) consiste à élever en masse des insectes mâles et à les stériliser par irradiation à faibles doses pour les lâcher ensuite dans la nature où ils s'accouplent sans donner de progéniture.

En collaboration avec le Chili, le Pérou veut éradiquer la mouche méditerranéenne des fruits (MMF) dans ses régions méridionales et se préparer à une lutte intégrée dans d'autres régions. Des administrateurs de projet du Chili et du Pérou à la recherche d'une assistance technique pour les campagnes envisagées se sont réunis en juillet dernier à Vienne avec des fonctionnaires et des techniciens de l'AIEA pour préciser les stratégies et les plans de travail. L'Agence transférera la technologie de sexualisation génétique de l'insecte à l'installation chilienne d'élevage en masse, formera du personnel et fournira un matériel spécialisé ainsi qu'une aide technique pour les campagnes au Pérou. Aux termes du projet, le Chili procurera les mouches stériles.

La campagne a commencé à Tacna, dans la vallée la plus méridionale du Pérou. Pour l'opération, essentiellement financée par le Chili, plus de 20 millions de mouches stériles produites par le centre d'élevage chilien d'Arica sont livrées et lâchées chaque semaine. Les cultures fruitières occupent plus de 175 000 hectares et la MMF cause des pertes qui s'élèvent à plus de 25 millions de dollars par an. La mangue, le raisin, la mandarine et d'autres agrumes sont les principaux fruits exportés.

La campagne prévue s'inscrit dans un ambitieux programme national de destruction et d'éradication de la MMF. Dans les régions côtières, il est possible de créer des zones fruitières exemptes de l'insecte en profitant de l'isolement topographique des vallées. Le pays envisage d'implanter deux installations d'élevage et de moderniser l'installation de Lima pour produire des mâles stériles de la MMF et de l'*Anastrepha*, autre mouche des fruits qui coexiste avec la première à maints endroits et qu'il faut aussi détruire.

Roumanie: première centrale nucléaire

A Cernavoda, la première centrale nucléaire de Roumanie a été connectée au réseau en juillet, à faible régime. Des rapports indiquent que le réacteur était prêt à fonctionner à pleine puissance en septembre, après une dernière série d'essais. Cette première tranche de 700 mégawatts, installée en coopération avec le Canada, peut assurer jusqu'à 10 % de la production actuelle totale de la Roumanie qui autrement compte essentiellement sur le charbon, le pétrole et la houille blanche. Quatre autres réacteurs CANDU sont prévus sur le même site.

Géorgie: admission à l'AIEA

La République de Géorgie est officiellement membre de l'AIEA depuis quelques mois. L'Agence a été informée fin mai du dépôt de l'instrument d'acceptation du Statut par le Gouvernement. Elle compte désormais 124 Etats Membres.

Bélarus: ratification de la Convention sur les armes chimiques

Le Bélarus est le 56ème Etat qui a ratifié la Convention sur les armes chimiques, ayant déposé les instruments pertinents le 11 juillet. La Convention, signée à ce jour par 160 Etats, entrera en vigueur 180 jours après le dépôt du 65ème instrument de ratification.

Ce premier accord multilatéral de désarmement qui prévoit l'élimination totale de toute une caté-

gorie d'armes de destruction massive interdit l'étude, la production, l'acquisition, la possession, le stockage, le transfert et l'emploi des armes chimiques. L'Organisation pour l'interdiction des armes chimiques, en voie de création, aura pour mission de veiller à l'application de la Convention; son siège sera à La Haye (Pays-Bas).

Pour plus ample information, s'adresser à la commission préparatoire, Laan van Meerdervoort 51, 2517 AE La Haye.

Téléfax: 31-70-360-0944.

Adresse Internet: <http://www.opcw.nl/>

Etats-Unis: coûts nucléaires en baisse, réglementation des déchets

Selon les rapports de l'Utility Data Institute (UDI) de Washington, les coûts de la production nucléo-électrique aux Etats-Unis ont encore diminué: baisse de 5 % en 1995. Pour l'ensemble de l'industrie nucléaire américaine, le prix de revient du mégawattheure (MWh) net était de 19,11 dollars en 1995. Toujours selon l'UDI, la production d'électricité a augmenté de 5 % cette même année, atteignant 674 millions de MWh.

Les centrales de North Anna (Virginie), de Vogtle (Géorgie) et de Wolf Creek (Kansas) viennent en tête de la liste des performances établie par l'UDI. Pour les trois, les frais d'exploitation et de maintenance étaient bien inférieurs à 12 dollars par MWh.

Les coûts de production des centrales américaines baissent régulièrement depuis dix ans après une flambée dans les années 70 et jusqu'au milieu des années 80. En 1995, les coûts parmi les 25 premières unités variaient entre 11,16 dollars par MWh à North Anna et 17,35 à Brunswick (Caroline du Nord). Aux Etats-Unis, plus de 100 centrales nucléaires sont en exploitation.

Pour plus ample information, s'adresser à UDI, McGraw-Hill Companies, 1200 G. Street NW, Suite 280, Washington, DC 20005-3802, USA. Téléfax: 001-202-942-8789.

CE: info@udidata.com.

Législation sur les déchets nucléaires. Le Sénat des Etats-Unis d'Amérique a commencé l'examen d'une nouvelle législation portant réforme du programme actuel de gestion des déchets et traitant plus spécialement du problème du stockage, du transport et de l'élimination du combustible épuisé.

Selon le Nuclear Energy Institute, organisme de commercialisation de l'industrie nucléaire basé à Washington, cette législation conserverait des dispositions très importantes (réalisation d'un système intégré de gestion des déchets nucléaires — construction d'une installation centrale de

stockage provisoire et d'un dépôt, et organisation du transport du combustible épuisé vers les deux installations; volume de stockage provisoire répondant aux besoins de l'industrie jusqu'en 2019; et solution de financement avec un plafond pour la redevance par kilowattheure).

Pour s'informer en détail sur le programme actuel de gestion des déchets aux Etats-Unis et sur la nouvelle législation, s'adresser à NEI, Suite 400, 1776 Eye Street, NW, Washington, DC 20006-3709. Téléfax: 001-202-785-4113.

Argentine et Brésil: l'ABACC informe

L'Agence brésilienne-argentine de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires donne des nouvelles sur ses récentes activités dans son bulletin périodique *ABACC News*.

Elle a été créée pour administrer et appliquer un système commun de garanties à toutes les matières nucléaires présentes dans toutes les activités nucléaires de l'Argentine et du Brésil, en coordination avec l'AIEA. Le premier numéro du bulletin de 1996 note que l'ABACC a procédé jusqu'à la fin avril de cette année à 49 inspections coordonnées avec celles de l'AIEA.

Pour plus ample information, s'adresser à ABACC, Av. Rio Branco, 123 — grupo 515, CEP 20040-005, Rio de Janeiro, Brésil. Téléfax: 55-21-507-1857/232-0382.

NOMINATIONS A L'AIEA. Quatre nominations ont été annoncées: **M. Zygmund Domaratzki** (Canada), directeur général adjoint, Département de la sûreté nucléaire, à dater du 1er août 1996. De 1992 à 1994, il a présidé le groupe d'experts réuni par l'AIEA pour préparer la Convention sur la sûreté nucléaire. Il succède à **M. Morris Rosen** (Etats-Unis), sous-directeur général. **Mme Annick Carnino** (France), directeur de la Division de la sûreté des installations nucléaires, Département de la sûreté nucléaire, à partir du 1er juillet 1996. Elle fait partie de l'AIEA depuis 1990. **M. Abel J. González** (Argentine), directeur de la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets, Département de la sûreté nucléaire, à dater du 1er juillet 1996. Il était auparavant directeur adjoint de l'ancienne division de la sûreté nucléaire. **M. Swapan Kumar Datta** (Inde), directeur de la Division des services linguistiques, Département de l'administration, à dater du 1er septembre 1996; il était auparavant chef de la Section de traduction anglaise. Il succède à **M. Jean Rivals** (France).

INFORMATION ECOLOGIQUE. Un annuaire de référence sur la coopération internationale pour l'environnement, le *Green Globe Yearbook*, a été publié par l'Institut Fridtjof Nansen de Norvège. Les sujets traités sont: le Protocole de Montréal, les conventions maritimes régionales, le Programme des Nations Unies pour l'environnement, le programme SIDA de l'Organisation mondiale de la santé, les considérations écologiques à intégrer dans l'aide au développement, et les activités des organisations internationales, dont l'AIEA,

et de 13 pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques. Le dernier numéro contient des références sur les sources Internet d'information concernant la coopération internationale relative à l'environnement et au développement ainsi qu'un programme succinct des conférences électroniques dans ce domaine. Pour plus ample information, s'adresser à l'Institut, B.P. 326, N-1324 Lysaker, Norvège. Téléfax: 47-67-111910. CE: green.yearbook@fni.no.

L'ENERGIE DANS L'AVENIR. D'après les rapports de l'Energy Information Administration (EIA) du Département de l'énergie des Etats-Unis, une augmentation très sensible de la demande mondiale d'énergie due à une forte croissance économique est à prévoir. Elle se manifestera surtout en Asie où elle atteindra 150 % d'ici à 2015 sous l'impulsion de la croissance économique de la Chine et de l'Inde. L'élévation des niveaux de vie dans les pays en développement appelle une consommation accrue d'énergie pour la production d'électricité et le transport automobile individuel. Pendant la même période, l'électricité sera la source d'énergie finale qui se développera le plus rapidement dans le monde. Le nucléaire continuera à assurer une bonne part de la production alors que, selon les prévisions de l'EIA, moins de la moitié des pays qui exploitent cette option en augmenteront la capacité. Ces projections figurent dans *International Energy Outlook 1996*. Pour plus ample information, s'adresser à l'EIA, Forrestal Building, Room 1F-048, Washington, DC 20585. CE: infoctr@eia.doe.gov.

DISTINCTION ANNIVERSAIRE.

M. Sigvard Eklund, directeur général honoraire de l'AIEA, a reçu un diplôme d'honneur de la Faculté de technologie et de sciences naturelles de l'Université d'Upsala (Suède). Cette distinction lui a été décernée pour marquer l'anniversaire du doctorat qu'il a obtenu il y a 50 ans. M. Eklund, né en Suède en 1911, a été directeur général de l'AIEA de 1961 à 1981.



VACANCES DE POSTES A L'AIEA

JURISTE HORS CLASSE (96/086), Département de l'administration. Grade P-5. *Fonctions:* aider le Directeur de la Division juridique et, en collaboration avec d'autres fonctionnaires de la Division, établir des avis, des instruments et des documents juridiques et fournir, sur demande, des conseils juridiques. *Qualifications:* diplôme supérieur en droit et bon dossier universitaire. Familiarité avec le droit des traités internationaux, y compris le droit des organisations internationales et le droit nucléaire. *Date limite pour la présentation des candidatures:* 17 janvier 1997.

ANALYSTE DE SYSTEMES (2 postes) (96/084), Département des garanties. Grade P-4. *Fonctions:* définir, concevoir, développer et installer des systèmes informatisés pour les garanties et élaborer et gérer des projets qui font partie intégrante du Système d'appui aux inspecteurs en mission (IFSS) et qui doivent être reliés à d'autres systèmes pour ordinateur personnel. Ces applications fonctionnent sur réseau local ou sont destinées à être utilisées sur le terrain. *Qualifications:* diplôme universitaire, de préférence en informatique ou dans un domaine connexe; expérience de la conception et du développement de systèmes pour ordinateur personnel sous Windows; expérience des outils de développement d'applications sous Windows; connaissance et expérience des méthodes de développement de systèmes. *Date limite pour la présentation des candidatures:* 17 février 1997.

ANALYSTE/PROGRAMMEUR DE SYSTEMES (2 postes) (96/085), Département des garanties. Grade P-3. *Fonctions:* définir, concevoir, développer et installer des systèmes informatisés pour les garanties qui feront partie intégrante du Système d'appui aux inspecteurs en mission (IFSS) et d'autres systèmes pour ordinateur personnel. *Qualifications:* diplôme universitaire, de préférence en informatique ou dans un domaine connexe; expérience de la conception et du développement de systèmes pour ordinateur personnel sous Windows; expérience des outils de développement d'applications sous Windows; six ans d'expérience appropriée. *Date limite pour la présentation des candidatures:* 17 février 1997.

ANALYSTE DE SYSTEMES (systèmes financiers) (96/092), Département de l'administration. Grade P-3. *Fonctions:* aider à la mise au point et à l'appui du système d'information financière de l'Agence et prêter son concours aux usagers en vue de la planification stratégique de la migration future du système vers une nouvelle plateforme. *Qualifications:* diplôme universitaire en informatique ou dans une discipline équivalente. Au moins six ans d'expérience appropriée de la conception et de la mise au point de systèmes informatiques sur des plates-formes client/serveur basées sur des réseaux locaux. Expérience des grands

systèmes IBM utilisant MVS, CICS et COBOL. Connaissance des techniques de formation assistée par ordinateur. Bonne connaissance des principes et des pratiques comptables.

Date limite pour la présentation des candidatures: 13 février 1997.

ANALYSTE DE SYSTEMES (systèmes financiers) (96/093), Département de l'administration. Grade P-2. *Fonctions:* aider à la mise au point et à l'appui technique du système d'information financière de l'Agence, ainsi qu'à la bonne exécution des travaux courants. *Qualifications:* diplôme universitaire en informatique ou dans une discipline équivalente. Au moins deux ans d'expérience appropriée de la conception et de la mise au point de systèmes informatiques pour des réseaux locaux de type client/serveur. Expérience des grands systèmes IBM utilisant MVS, CICS et COBOL. Connaissance des techniques de formation assistée par ordinateur. Bonne connaissance des principes et des pratiques comptables.

Date limite pour la présentation des candidatures: 13 février 1997.

SPECIALISTE DU MATERIEL D'END (96/087), Département des garanties. Grade P-4. *Fonctions:* coordonner les travaux du Groupe d'étalonnage et d'entretien, qui est responsable de l'installation, de l'étalonnage, des essais, de la mise en service, de l'entretien et de la réparation de tout le matériel d'essai non destructif (END) utilisé aux fins des garanties et du matériel de surveillance radiologique automatique. *Qualifications:* diplôme universitaire en ingénierie ou en physique nucléaire, et spécialisation en électronique et en techniques d'analyse. Aptitude démontrée à coordonner des tâches et à superviser le personnel; compétences techniques dans les domaines suivants: électronique de surveillance et instrumentation utilisée pour les garanties, ingénierie et applications du matériel d'END, mise en place de matériel dans des installations nucléaires, dépannage et entretien d'instruments électroniques. Dix ans d'expérience professionnelle appropriée, dont une partie au niveau international.

Date limite pour la présentation des candidatures: 13 mars 1997.

CHEF DE SECTION (96/088), Département des garanties. Grade P-5. *Fonctions:* organiser, diriger et mener des activités de garanties, conformément aux accords de garanties pertinents, à l'intérieur de la Section et en coordination avec les autres sections de la Division. *Qualifications:* diplôme universitaire supérieur ou équivalent en chimie, en physique ou en ingénierie. Au moins 15 ans d'expérience dans l'industrie nucléaire, dans la recherche nucléaire ou dans un service international ou gouvernemental lié à ce domaine, dont cinq au minimum dans le secteur des garanties.

Date limite pour la présentation des candidatures: 13 mars 1997.

CHEF DE L'UNITE D'APPUI AUX RESEAUX LOCAUX (96/089), Département de l'énergie nucléaire. Grade P-4. *Fonctions:* gérer le personnel et assumer la responsabilité de l'Unité, qui offre des services centralisés en matière de serveurs de réseaux locaux et de communication. *Qualifications:* diplôme universitaire (ou équivalent) en informatique ou dans une discipline connexe. Au moins dix ans d'expérience pratique pertinente, dont au moins deux devraient porter sur la gestion de projets techniques et la supervision de personnel technique. Expérience de l'application de la technologie informatique dans un environnement télématique international.

Date limite pour la présentation des candidatures: 13 mars 1997.

NOTE:

Les avis de vacances de postes (résumés ci-dessus) sont publiés à l'intention des lecteurs souhaitant se renseigner sur le genre de postes d'administrateur à pourvoir à l'AIEA. Ils ne constituent pas des avis officiels et sont susceptibles d'être modifiés. L'AIEA envoie fréquemment aux centres et bureaux d'information de l'ONU ainsi qu'aux organes gouvernementaux et organismes de ses Etats membres (ministère des affaires étrangères et autorité chargée de l'énergie atomique). Il est conseillé aux personnes intéressées par une éventuelle candidature de se tenir en rapport avec ces derniers. Ces postes sont ouverts aux candidats hommes ou femmes possédant les qualifications appropriées. De plus amples renseignements sur les possibilités d'emploi à l'AIEA peuvent être obtenus en écrivant à la Division du personnel, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

SERVICES INFORMATIQUES EN LIGNE

Les avis de vacances de postes d'administrateur de l'AIEA, de même que les notices personnelles de présentation de candidature, sont désormais disponibles sur un réseau informatique mondial auquel il est possible d'accéder directement par les services Internet. Ils sont accessibles par les services *World Atom* de l'AIEA, sur *World Wide Web*, à l'adresse suivante:

<http://www.iaea.or.at/worldatom/vacancies>
On peut également obtenir des renseignements généraux sur les conditions d'emploi à l'AIEA. Veuillez noter que les candidatures ne sont pas transmises sur le réseau informatisé, car elles doivent être adressées par écrit à la Division du personnel de l'AIEA, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche.

MATERIALS ACCOUNTANCY

– we have the NDA solution for all fuel cycles

PIMS

- Locates plant hold-up
- Advanced Safeguards applications
- Near real time Pu inventory

Spent Fuel Monitor

- Irradiation and enrichment parameter measurement
- Single or diverse measurements
- 1 million fuel items measured

CIVIL/ MILITARY MATERIAL

Pu Can Contents Monitor

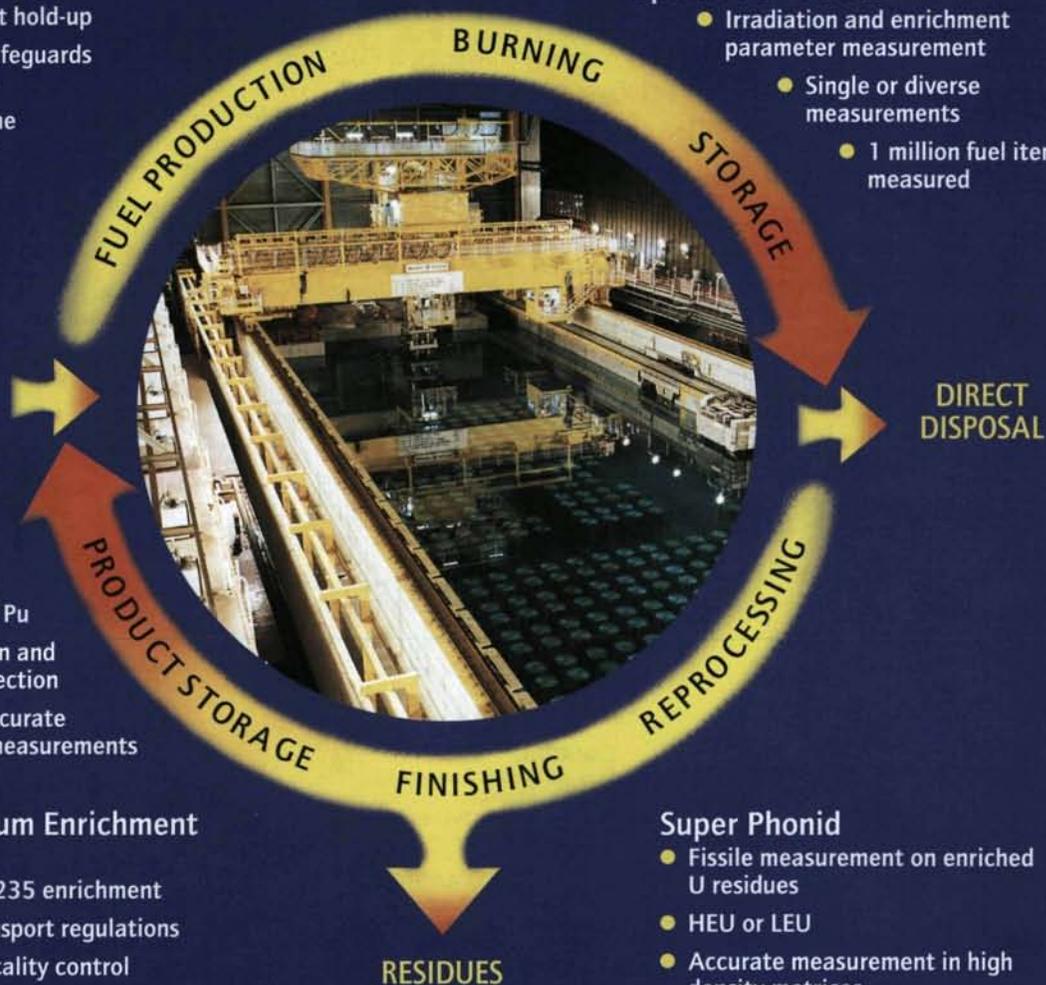
- Measures kg quantities of Pu
- Multiplication and isotopic correction
- Rapid and accurate automated measurements

Uranium Drum Enrichment Monitor

- Measures U-235 enrichment
- Satisfies transport regulations
- Ensures criticality control

Super Phonid

- Fissile measurement on enriched U residues
- HEU or LEU
- Accurate measurement in high density matrices



Our new instrumentation with operationally proven technology is designed to solve all your materials accountancy needs and satisfy regulatory requirements. It's the total NDA solution backed by over 20 years specialist experience in every segment of the fuel cycle.

Contact us now for the BNFL Information Pack on Materials Accountancy.

BNFL Instruments Ltd

Pelham House, Calderbridge, Cumbria
CA20 1DB England
Telephone: +44 (0) 19467 85000,
Fax: +44 (0) 19467 85001

Pajarito Scientific Corporation

278 D.P. Road, Los Alamos,
New Mexico 87544 USA
Telephone: 505 662-4192,
Fax: 505 662-2286

Pajarito Scientific Corporation is a BNFL company



NOUVELLES PUBLICATIONS DE L'AIEA

Rapports et comptes rendus

Induced Mutations and Molecular Techniques for Crop Improvement,
Collection Comptes rendus,
ISBN 92-0-104695-2, SCH. 2 160*

Environmental Impact of Radioactive Releases, *Collection Comptes rendus*,
ISBN 92-0-104495-X, SCH. 2 480

Tomography in Nuclear Medicine,
Collection Comptes rendus,
ISBN 92-0-101296-9, SCH. 1 320

Isotopes in Water Resources Management 1995, *Collection Comptes rendus*,
vol. 1, ISBN-92-0-105595-1, SCH. 1 360;
vol. 2, ISBN-92-0-100796-5, SCH. 1 520

Assessment of the Overall Fire Safety Arrangements at Nuclear Power Plants,
Collection Sécurité n° 50-P-11,
ISBN 92-0-100996-8, SCH. 360

Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources,
Collection Sécurité n° 120,
ISBN 92-0-105295-2, SCH. 160

Direct Methods for Measuring Radionuclides in the Human Body,
Collection Sécurité n° 114,
ISBN 92-0-100896-1, SCH. 400

Human Reliability Analyses in Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants,
Collection Sécurité n° 50-P-10,
ISBN 92-0-103395-8, SCH. 360

The Radiological Accident at the Irradiation Facility in Nesvizh,
ISBN 92-0-101396-5, SCH. 280

Lessons Learned from Accidents at Industrial Irradiation Facilities,
ISBN 92-0-102696-X, SCH. 240

Ouvrages de référence/statistiques

IAEA Yearbook 1995,
ISBN 92-0-101295-0, SCH. 500

Nuclear Power Reactors in the World,
Données de référence n° 2, SCH. 140,
ISBN 92-0-101896-7 (IAEA-RDS-2/16)

Nuclear Research Reactors in the World,
Données de référence n° 3, SCH. 200,
ISBN 92-0-104696-0 (IAEA-RDS-3/10)

NFCIS: The Nuclear Fuel Cycle Information System,
ISBN 92-0-101096-6, SCH. 920

Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 1994,
ISBN 92-0-104795-9, SCH. 2 400

LIEUX DE VENTE DES PUBLICATIONS DE L'AIEA

On pourra se procurer les ouvrages, rapports et autres publications de l'AIEA en s'adressant aux organismes ci-après ou dans de grandes librairies locales.

ALLEMAGNE

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags-GmbH,
Dag Hammarskjöld-Haus,
Poppelsdorfer Allee 55, D-53115 Bonn

AUSTRALIE

Hunter Publications, 58A Gipps Street,
Collingwood, Victoria 3066

BELGIQUE

Jean de Lannoy,
202, Avenue du Roi, B-1060 Bruxelles

BRUNEI

Parry's Book Center Sdn. Bhd.,
P.O. Box 10960, 50730 Kuala Lumpur,
Malaisie

CANADA

UNIPUB, 4611-F Assembly Drive,
Lanham, MD 20706-4391, Etats-Unis

CHINE

Publications de l'AIEA en chinois:
China Nuclear Energy Industry Corporation,
Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

DANEMARK

Munksgaard International Publishers Ltd.,
P.O. Box 2148, DK-1016 Copenhague K

EGYPTE

The Middle East Observer,
41 Sherif Street,
Le Caire

ESPAGNE

Díaz de Santos, Lagasca 95,
E-28006 Madrid
Díaz de Santos, Balmes 417,
E-08022 Barcelone

ETATS-UNIS D'AMERIQUE

UNIPUB, 4611-F Assembly Drive,
Lanham, MD 20706-4391

FRANCE

Office International de Documentation
et Librairie, 48, rue Gay-Lussac,
F-75240 Paris Cedex 05

HONGRIE

Librotrade Ltd., Book Import,
P.O. Box 126, H-1656 Budapest

INDE

Viva Books Private Limited,
4325/3, Ansari Road,
Darya Ganj,
New Delhi-110002

ISRAEL

YOZMOT Literature Ltd.,
P.O. Box 56055, IL-61560 Tel Aviv

ITALIE

Libreria Scientifica
Dott. Lucio di Biasio «AEIOU»,
Via Coronelli 6, I-20146 Milan

JAPON

Maruzen Company Ltd.,
P.O. Box 5050,
100-31 Tokyo International

MALAISIE

Parry's Book Center Sdn. Bhd.,
P.O. Box 10960, 50730 Kuala Lumpur

PAYS-BAS

Martinus Nijhoff International,
P.O. Box 269, NL-2501 AX La Haye
Swets and Zeitlinger b.v.,
P.O. Box 830, NL-2610 SZ Lisse

POLOGNE

Ars Polona,
Foreign Trade Enterprise,
Krakowskie Przedmieście 7,
PL-00-068 Varsovie

REPUBLIQUE TCHEQUE

Artia Pegas Press Ltd.,
Palác Metro, Narodni tř. 25,
P.O. Box 825, CZ-111 21 Prague 1

ROYAUME-UNI

HMSO, Publications Centre,
Agency Section,
51 Nine Elms Lane, Londres SW8 5DR

SINGAPOUR

Parry's Book Center Pte. Ltd.,
P.O. Box 1165, Singapour 913415

SLOVAQUIE

Alfa Press Publishers,
Hurbanovo námestie 3,
SQ-815 89 Bratislava

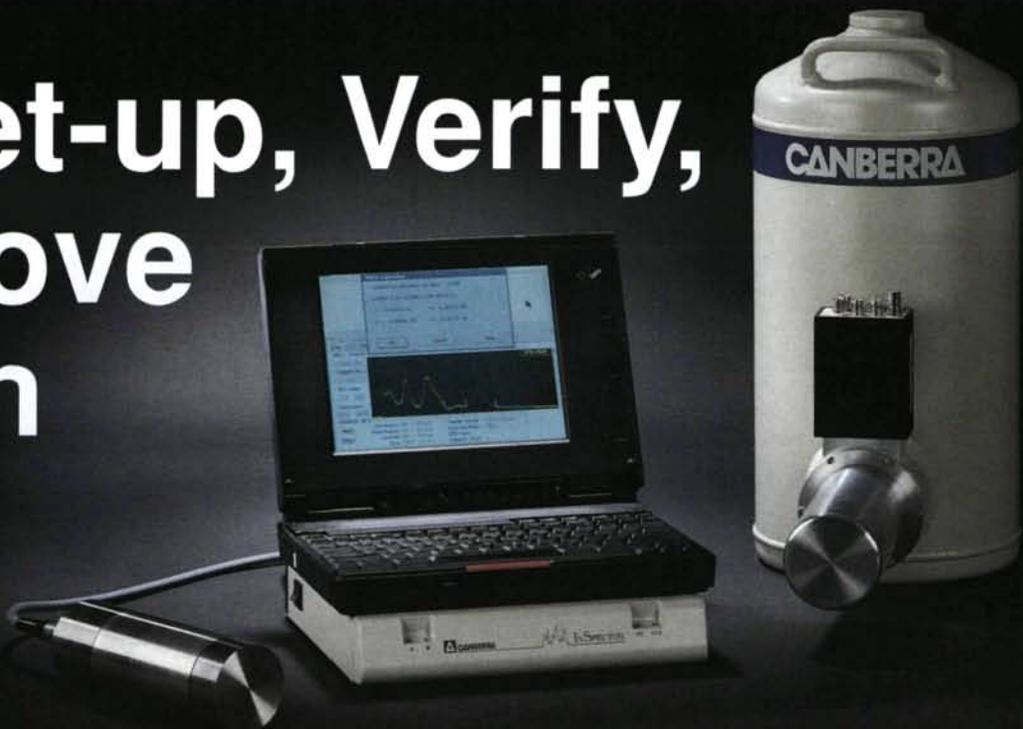
SUEDE

Fritzes Customer Service,
S-106 47 Stockholm

Sauf pour les Etats-Unis et le Canada, les commandes et les demandes de renseignements peuvent aussi être envoyées directement à l'adresse suivante:
Unité de la promotion et de la vente des publications
Agence internationale de l'énergie atomique
Wagramerstrasse 5, B.P. 100,
A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone: +43 1 2060 (22529, 22530)
Fac-similé: +43 1 2060 29302
Courrier électronique:
SALESPUB@ADPO1.IAEA.OR.AT

* Schillings autrichiens.

Set-up, Verify, Move On



Fast, Reliable On-Site Verification Measurements with IMCA

When taking on-site verification measurements for safeguards, inspectors can't afford to experience problems with outdated MCA technology, cumbersome user interfaces and complicated operating procedures. They need to set up quickly, take the measurement and move on. They need to maximize accuracy and reliability while minimizing time and operational impact at the facility.

With Canberra's IMCA (Inspector MultiChannel Analyzer), safeguards inspectors can do just that. Built on the world's smallest, full featured MCA, the IMCA offers portable, laboratory grade spectroscopy with all day operation from standard video camcorder batteries.

Measurement procedures are built-in for uranium enrichment and plutonium isotopic measurements. The IMCA supports multiple detector configurations – using Am-doped or undoped NaI detectors, CdTe detectors and HPGe detectors. Temperature compensation is built in for Am-doped NaI detectors.

Inspectors don't have to worry about setting up the MCA – setting gains or High Voltage values – in the field. Simply select the desired procedure from a menu and the system automatically downloads previously defined setups and calibrations for the exact measurement and detector in use. It's fast – and the possibility of error is virtually eliminated.

Data reduction is performed using either enrichment meter techniques or optionally, Canberra's exclusive safeguards versions of MGA or MGAU. All measurement and calibration data, system setup parameters, and performance monitoring information, are automatically archived for subsequent lab reanalysis. Built-in QA procedures verify that everything is working correctly.

Keep your inspectors moving – use the IMCA and get fast, accurate, dependable results.

For additional information on the Canberra IMCA, call, write, or fax us today.



Canberra Industries Inc., Nuclear Products Group, 800 Research Parkway, Meriden, CT 06450 U.S.A.
Tel: (203) 238-2351 Toll Free 1-800-243-4422 FAX: (203) 235-1347 <http://www.canberra.com>



- AMENTA, J.** INIS: le pionnier de l'inforoute nucléaire a 25 ans, n° 3 p. 39
- ANDEMICAEL, B.** Histoire d'un compromis: le TNP et l'avenir, n° 3 p. 30
- BAECKMANN von, A.** Vérification du nucléaire en Afrique du Sud, n° 1 p. 42
- BANNER, D.L.** Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants, n° 4 p. 16
- BARRETTO, P.** Coopération technique de l'AIEA: améliorer les transferts de technologie, n° 1 p. 3
- BARTON, J.** L'AIEA en ligne: la communauté nucléaire mondiale resserre ses liens, n° 3 p. 44
- BAXTER, M.** Les océanographes et les mers arctiques: mise au point du dossier radiologique, n° 2 p. 31
- BERTEL, E.** Electricité, santé et environnement: le projet DECADES, n° 2 p. 2
L'énergie nucléaire et le débat écologique: le contexte des choix, n° 4 p. 2
- BLIX, H.** L'AIEA, les Nations Unies et le nouveau projet nucléaire mondial, n° 3 p. 3
- BONNE, A.** Gestion des déchets radioactifs: examens par des homologues internationaux, n° 4 p. 26
- BOOTHROYD, A.D.** L'énergie nucléaire: option toujours valable, n° 2 p. 14
- BOUSSAHA, A.** La coopération nucléaire en Afrique: développer les compétences et les ressources, n° 1 p. 37
- CHITUMBO, K.** Les garanties dans l'Union européenne: la nouvelle formule de partenariat, n° 1 p. 25
- CLEVELAND, J.C.** Fusion nucléaire: préciser les objectifs de la sûreté et de la protection de l'environnement, n° 4 p. 22
- DAVIES, L.M.** L'énergie nucléaire: option toujours valable, n° 2 p. 14
- DILLON, G.** Vérification du nucléaire en Afrique du Sud, n° 1 p. 42
- DOLAN, T.J.** Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants, n° 4 p. 16
Fusion nucléaire: préciser les objectifs de la sûreté et de la protection de l'environnement, n° 4 p. 22
- ELBARADEI, M.** Le droit international et l'énergie nucléaire: aperçu du cadre juridique, n° 3 p. 16
- FLAKUS, F.N.** Les rayonnements sous leur vrai jour: les risques doivent être mieux compris, n° 2 p. 7
Fusion nucléaire: préciser les objectifs de la sûreté et de la protection de l'environnement, n° 4 p. 22
- HERA, C.** L'atome au champ: enrichir la terre du paysan, n° 2 p. 36
- HIDE, K.** Centrales nucléaires: vers plus de sûreté, n° 4, p. 8.
- HOOPER, R.** Les garanties de l'AIEA dans les années 90: édifier sur l'acquis, n° 1 p. 14
- JACKSON, D.P.** Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants, n° 4 p. 16
- KABANOV, L.** Les centrales nucléaires de l'avenir: harmoniser les impératifs de sûreté, n° 4 p. 12.
- KOUVSHINNIKOV, B.A.** Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants, n° 4 p. 16
- KUPITZ, J.** L'énergie nucléaire et le dessalement de l'eau de mer: le point sur la question, n° 2 p. 21
- LINSLEY, G.** Projet international d'évaluation pour les mers arctiques: état d'avancement des travaux, n° 2 p. 25
- LOPEZ LIZANA, F.** Les services de radioprotection: du laboratoire à la pratique, n° 3 p. 26
- MAKSOUDI, M.** La coopération nucléaire en Afrique: développer les compétences et les ressources, n° 1 p. 37
- MAUTNER-MARKHOF, F.** L'énergie d'origine nucléaire: formation dans l'intérêt de la sûreté et de la fiabilité, n° 2 p. 18
- MCGOLDRICK, F.** Initiatives des Etats-Unis relatives aux matières fissiles: conséquences pour l'AIEA, n° 1 p. 49
- NWOGUGU, E.** Le droit international et l'énergie nucléaire: aperçu du cadre juridique, n° 3 p. 16
- OPELZ, M.** Histoire d'un compromis: le TNP et l'avenir, n° 3 p. 30
- OSVATH, I.** Les océanographes et les mers arctiques: mise au point du dossier radiologique, n° 2 p. 31
- OUVRARD, R.** Les services de radioprotection: du laboratoire à la pratique, n° 3 p. 26
- PELLAUD, B.** Les garanties de l'AIEA dans les années 90: édifier sur l'acquis, n° 1 p. 14
- PERRICOS, D.** Vérification du nucléaire en Afrique du Sud, n° 1 p. 42
- POVINEC, P.** Les océanographes et les mers arctiques: mise au point du dossier radiologique, n° 2 p. 31
- PRIEST, J.** Garanties de l'AIEA: les corrélations, n° 1 p. 2
Histoire d'un compromis: le TNP et l'avenir, n° 3 p. 30
- QIAN, J.** L'atome au service de la paix: partager les bienfaits des techniques nucléaires, n° 1 p. 21
- RAMES, J.** Le droit international et l'énergie nucléaire: aperçu du cadre juridique, n° 3 p. 16
- RAO, K.V.M.** L'énergie d'origine nucléaire: formation dans l'intérêt de la sûreté et de la fiabilité, n° 2 p. 18
- ROGOV, A.** L'atome au service de la paix: partager les bienfaits des techniques nucléaires, n° 1 p. 21
- ROMAN-MOREY, E.** Le Traité de Tlatelolco: instrument de paix et de développement pour l'Amérique latine, n° 1 p. 33
- ROSEN, M.** Comprendre les risques radiologiques: les leçons de la Conférence de Paris, n° 2 p. 12
- SHARMA, S.K.** L'AIEA et le système des Nations Unies: le dispositif de coopération nucléaire, n° 3 p. 10
- SJOEBLOM, K.-L.** Projet international d'évaluation pour les mers arctiques: état d'avancement des travaux, n° 2 p. 25
- SNIHS, J.O.** L'évacuation des déchets radioactifs: principes et normes radiologiques, n° 4 p. 30
- SOROKIN, A.** INIS: le pionnier de l'inforoute nucléaire a 25 ans, n° 3 p. 39
- THORSTENSEN, S.** Les garanties dans l'Union européenne: la nouvelle formule de partenariat, n° 1 p. 25
Comptabilité et contrôle des matières nucléaires: coordonner l'assistance aux Etats nouvellement indépendants, n° 1 p. 29
- VAN DE VATE, J.** L'énergie nucléaire et le débat écologique: le contexte des choix, n° 4 p. 2
- WARNECKE, E.** Gestion des déchets radioactifs: examen par des homologues internationaux, n° 4 p. 26
- WEDEKIND, L.** L'AIEA en ligne: la communauté nucléaire mondiale resserre ses liens, n° 3 p. 44

"Put Down that 6-Pound Book!" Instead...

Use NUCLIDE NAVIGATOR, the *first* ON-LINE Reference for Gamma-Ray Data

For the first time ever, application-specific gamma-ray libraries may be assembled in seconds, replacing hours of searching through heavy reference books!

NuclideNavigator™, from EG&G ORTEC is **the** indispensable tool for the gamma-ray spectroscopist. NuclideNavigator contains an instant-access, **on-line** Nuclide Database Manager and the complete Erdtmann and Soyka¹ nuclide database. The user may scroll through the Segré chart in any direction, or jump instantly to a specific nuclide by entering its chemical symbol.

Multiple database search constraints, based on sample origin (e.g., thermal neutron activation, fission product, or naturally-occurring isotope), may be employed for speedy and accurate gamma ray identification.

For "difficult" analyses Nuclide Navigator allows instant scrutiny of possible identification candidates in a given energy range. Input and output data may be written in Microsoft® Access® format. Request the **FREE** 4-color brochure from EG&G ORTEC, 800-251-9750; FAX 615-483-0396; INTERNET: 709-6992 @ MCIMAIL.COM.

P.S. NuclideNavigator is totally compatible with any gamma analysis software you currently use!

¹G. Erdtmann and W. Soyka. "The Gamma-Rays of the Radionuclides." Verlag Chemie, ISBN 3-527-25816-7, Weinheim, FRG.
©Microsoft and Access are registered trademarks of Microsoft Corporation.

**Proven
systems
for personal
protection.**



R.A. Stephen is a member company of the Nuclear Safety Products Group of Morgan Crucible Company plc and is a specialist in personal dosimeters and protection systems.

The Stephen 6000, a recent advance in radiation protection technology which comprises a compact electronic dosimeter with a range of sophisticated features.

The Stephen Quartz Fibre Detector, a simple and reliable pen-size personal dosimeter which requires no battery and gives immediate scale reading of radiation.

The Gammacon 4200, a range of manual and automatic digital alarming dosimeters which meets a wide range of radiological protection requirements.

Please write for literature and further information.

R.A. Stephen, 15 Burnham Business Park, Springfield Road, Burnham-on-Crouch, Essex CM0 8TE, England.

Tel: 01621 783282. Fax: 01621 783132.

Morgan

R.A. Stephen is a business name of Mini Instruments Limited.

R.A. STEPHEN
DOSIMETRY

The range is in use throughout the world in a wide variety of nuclear, industrial and medical applications.



Désignation

Système de documentation sur les réacteurs de puissance (PRIS)

Description

Répertoire technique

Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec 29 de ses Etats membres

Service compétent

AIEA, Section du génie nucléaire, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche

Téléphone +43-1-2060

Télex 1-12645

Téléfax +43-1-20607

Courrier électronique via BITNET/INTERNET ID:

NES@IAEA1.IAEA.OR.AT

Domaine

Information mondiale sur les réacteurs de puissance en exploitation, en construction, en projet ou mis à l'arrêt et données d'expérience sur l'exploitation des centrales nucléaires dans les Etats membres de l'AIEA.

Sujets traités

Etat du réacteur, désignation, emplacement, type, constructeur, fournisseur des turbo-alternateurs, propriétaire et exploitant de la centrale, puissance thermique, puissance électrique brute et nette, date de mise en chantier, date de la première criticité, date de la première synchronisation avec le réseau, exploitation industrielle, date de la mise à l'arrêt, caractéristiques du cœur du réacteur et renseignements sur les systèmes de la centrale; énergie produite, arrêts prévus et imprévus, facteurs de disponibilité et d'indisponibilité, facteur d'exploitation et facteur de charge.



Désignation

Système international d'information pour les sciences et la technologie agricoles (AGRIS)

Description

Bibliographie

Producteur

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en collaboration avec 172 centres régionaux, nationaux et internationaux d'AGRIS

Service compétent

Poste de traitement d'AGRIS

c/o AIEA, B.P. 100,

A-1400 Vienne, Autriche

Téléphone +43-1-2060

Télex 1-12645

Téléfax +43-1-20607

Courrier électronique via BITNET/INTERNET ID:

FAS@IAEA1.IAEA.OR.AT

Nombre d'enregistrements accessibles depuis janvier 1993

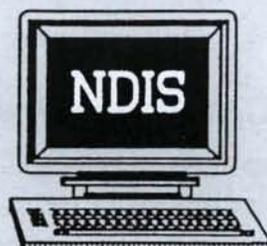
plus de 130 000

Domaine

Information mondiale sur les sciences et la technologie agricoles, y compris la foresterie, la pêche et la nutrition.

Sujets traités

Agriculture en général; géographie et histoire; enseignement, vulgarisation et information; administration et législation; économie agricole; développement et sociologie rurale; phytotechnie, zootechnie et production végétale et animale; protection phytosanitaire; technologie post-récolte; pêche et aquaculture; machines et génie agricoles; ressources naturelles; traitement des produits agricoles; nutrition humaine; pollution; méthodologie.



Désignation

Système de documentation sur les constantes nucléaires (NDIS)

Description

Données numériques et bibliographiques

Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec le Nuclear Data Centre du Laboratoire national de Brookhaven (Etats-Unis), la Banque de constantes nucléaires de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques à Paris, et un réseau de 22 autres centres de constantes nucléaires dans le monde

Service compétent

AIEA, Section des constantes nucléaires

B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche

Téléphone +43-1-2060

Télex 1-12645

Téléfax +43-1-20607

Courrier électronique via BITNET/INTERNET ID:

RNDS@IAEA1.IAEA.OR.AT

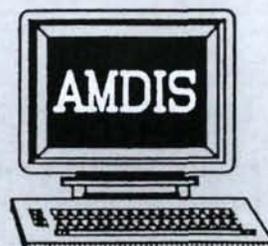
Domaine

Fichier de constantes de physique nucléaire numériques décrivant l'interaction des rayonnements avec la matière, et renseignements bibliographiques connexes.

Sujets traités

Constantes évaluées de réactions neutroniques en ENDF; constantes expérimentales de réactions nucléaires en EXFOR, pour les réactions produites par les neutrons, les particules chargées, ou les photons; périodes nucléaires et constantes de désintégration radioactive dans les systèmes NUDAT et ENSDF; renseignements bibliographiques connexes tirés des bases de données de l'AIEA, CINDA et NSR; divers autres types de données.

Note: L'information NDIS recherchée en mode non connecté peut aussi être obtenue du producteur sur bande magnétique.



Désignation

Système de documentation sur les constantes atomiques et moléculaires (AMDIS)

Description

Données numériques et bibliographiques

Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec le réseau international des centres de constantes atomiques et moléculaires, qui regroupe 16 centres de constantes nationales

Service compétent

Unité de constantes atomiques et moléculaires, Section des constantes nucléaires de l'AIEA
Courrier électronique via BITNET à RNDS@IAEA1; ou via INTERNET ID: PSM@RIPCRS01.IAEA.OR.AT

Domaine

Données atomiques et moléculaires et données sur l'interaction plasma-surface, ainsi que sur les propriétés des matériaux intéressants du point de vue de la recherche et de la technologie relatives à la fusion.

Sujets traités

Données au format ALADDIN relatives à la structure atomique et aux spectres (niveaux d'énergie, longueurs d'onde et probabilités de transition); collisions d'électrons et de particules lourdes avec des atomes, des ions et des molécules (sections efficaces et/ou coefficients de vitesse, y compris, dans la plupart des cas, ajustement analytique avec les données); érosion superficielle par impact des principaux composants du plasma et auto-érosion; réflexion de particules sur les surfaces; propriétés thermophysiques et thermomécaniques du béryllium et des graphites pyrolytiques.

Note: Le résultat des recherches effectuées en mode déconnecté peut être obtenu du producteur sur disquette, sur bande magnétique ou sous forme imprimée. Le logiciel ALADDIN et son manuel d'utilisation sont également disponibles auprès du producteur.

Pour accéder à ces bases de données, s'adresser aux producteurs. L'information peut également être fournie par le producteur sous forme imprimée, à titre onéreux. INIS et AGRIS sont également disponibles sur CD-ROM.



Désignation
Système international
de documentation nucléaire
(INIS)

Description
Bibliographie

Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique
en collaboration avec
91 de ses Etats membres et
17 autres organisations participantes

Service compétent

AIEA, Section de l'INIS,
B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone +43-1-2060-22842
Téléfax +43-1-20607-22842
Courrier électronique via
BITNET/INTERNET ID:
ATIEH@NEPO1.IAEA.OR.AT

**Nombre d'enregistrements
accessibles**

depuis janvier 1976
plus de 1 600 000

Domaine

Information mondiale sur les appli-
cations pacifiques de la science et de
la technologie nucléaires, ainsi que sur
les aspects économiques et environ-
nementaux de toutes les autres
sources d'énergie.

Sujets traités

Essentiellement: réacteurs nucléaires,
sûreté des réacteurs, fusion nucléaire,
application des rayonnements ou des
isotopes en médecine, en agriculture,
dans l'industrie, dans la lutte contre
les ravageurs, ainsi que dans des
domaines connexes tels que la chimie
nucléaire, la physique nucléaire et
la science des matériaux.

Plus spécialement: effets environnementaux,
économiques et sanitaires de
l'énergie nucléaire et, depuis 1992,
incidences économiques et environnemen-
tales des sources d'énergie non nucléaires.
Aspects juridiques et sociaux
de ces diverses questions.

INIS



The IAEA's
nuclear science
and
technology
database on
CD-ROM

ON CD-ROM

5000 JOURNALS

MORE THAN 1.6 MILLION RECORDS

6 COMPACT DISCS

INIS (the International Nuclear Information System) is a multi-disciplinary, bibliographic database covering all aspects of the peaceful uses of nuclear science and technology. INIS on CD-ROM combines the worldwide coverage of the nuclear literature with all the advantages of compact disc technology.

Call +44 (0)81 995 8242 TODAY!

for further information
and details of your local distributor

or write to

SilverPlatter Information Ltd.

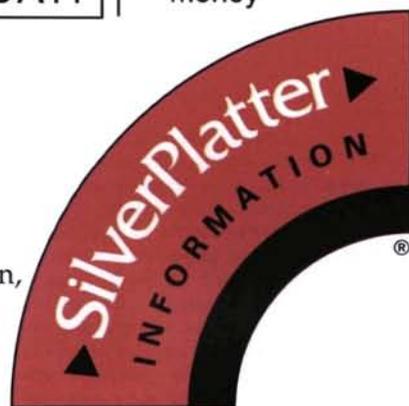
10 Barley Mow Passage, Chiswick, London,
W4 4PH, U.K.

Tel: 0800 262 096 +44 (0)81 995 8242

Fax: +44 (0)81 995 5159

CD-ROM means

- ◆ unlimited easy access
- ◆ fast, dynamic searching
- ◆ fixed annual cost
- ◆ flexible down-
loading and
printing
- ◆ desktop
access
- ◆ easy storage
- ◆ saving time,
space and
money





Intercomparaison aux fins du contrôle individuel de l'exposition externe aux rayonnements photoniques

Promouvoir l'emploi de quantités opérationnelles pour le contrôle individuel de l'exposition externe aux rayonnements photoniques.

Validation des méthodes de détection par chromatographie sur couche mince pour l'analyse des résidus de pesticide

Valider des méthodes relativement peu onéreuses, fondées sur la chromatographie sur couche mince, utilisables pour détecter les résidus de pesticide dans des échantillons de denrées alimentaires et de l'environnement et déterminer ceux qu'il y a lieu d'analyser à l'aide de techniques nucléaires et apparentées plus précises.

Logiciels spécialisés pour la spectrométrie gamma

Etudier à l'intention des Etats Membres des algorithmes, routines, programmes et bibliothèques modernes pour régler les problèmes courants de l'analyse des spectres gamma. Ces algorithmes faciliteront les analyses en ce qui concerne les systèmes experts, la production de spectres, les bibliothèques de données, l'étalonnage du rendement des détecteurs, l'assurance de la qualité, le contrôle de la qualité, les sources fortement radioactives et les corrections de coïncidence.

Mesure de la dose à l'aide de chambres d'ionisation à grille dans les faisceaux d'électrons et de photons utilisés en thérapie

Vérifier la précision des données et des procédures indiquées dans le nouveau code de bonne pratique. En outre, les écarts par rapport aux recommandations en vigueur seront quantifiés pour en étudier les effets possibles en dosimétrie thérapeutique.

Acquisition et évaluation de constantes photonucléaires en vue de leur application

Constituer un fichier de sections efficaces évaluées relatives aux réactions photo-nucléaires. La liste des noyaux devrait inclure les éléments naturels et leurs isotopes qui jouent un rôle important dans les matières biologiques et les matériaux de structure et de protection, ainsi que les actinides, les produits de fission et quelques autres.

Maintien de l'intégrité structurale des cuves de réacteurs

Faciliter l'échange d'information au niveau international, donner des conseils pratiques pour la surveillance des cuves de réacteurs, et mettre au point et évaluer une procédure uniforme d'essai de spécimens pour juger de l'intégrité structurale des cuves.

Mise au point des données radiologiques de base pour garantir la sûreté du transport de matières de faible activité spécifique et d'objets superficiellement contaminés

Aider l'Agence à formuler des spécifications pour la sûreté du transport. Ce programme fournira une base pour le classement des matières de faible radioactivité (tels certains déchets) et la modélisation des rejets éventuels en cas d'accident en cours de transport.

Elaboration de méthodes pour optimiser le contrôle de la surveillance et la maintenance des organes importants pour la sûreté des centrales nucléaires

Organiser l'échange de données d'expérience pour l'examen et l'analyse des diverses stratégies visant à améliorer et à optimiser le contrôle de la surveillance et la maintenance aux fins de la sûreté des centrales nucléaires, et faciliter l'échange des méthodes et techniques utilisées pour cette optimisation.

1997

Colloque sur le diagnostic et la prophylaxie des maladies du bétail à l'aide de techniques nucléaires et associées

Vienne, Autriche (7-11 avril)

Colloque international sur l'emploi des techniques isotopiques pour l'étude de l'évolution passée et présente de l'environnement de l'hydrosphère et de l'atmosphère

Vienne, Autriche (14-18 avril*)

*date provisoire

Séminaire sur la situation actuelle de la radiothérapie dans le monde

New York, Etats-Unis (17-19 avril)

Séminaire sur le recours aux techniques nucléaires pour optimiser l'emploi des nutriments et de l'eau en vue d'améliorer la productivité agricole et de préserver l'environnement

Piracicaba, Brésil (12-16 mai)

Colloque sur le dessalement de l'eau de mer à l'aide de l'énergie nucléaire

Taejon, République de Corée

(26-30 mai)

Colloque sur les stratégies relatives au cycle du combustible nucléaire et aux réacteurs — adaptation aux nouvelles réalités

Vienne, Autriche (2-6 juin)

Colloque sur la technologie des rayonnements pour la protection de l'environnement

Lieu à fixer (15-19 septembre)

Colloque sur les garanties internationales

Vienne, Autriche (13-17 octobre)

La liste ci-dessus est sélective et provisoire. Pour tous renseignements complémentaires, s'adresser à l'AIEA, Section des services de séances, ou se reporter à la publication trimestrielle de l'AIEA intitulée **Meetings on Atomic Energy** (pour passer commande, voir la rubrique *Nouvelles publications de l'AIEA*). Des précisions sur les programmes de recherche coordonnée (PRC) peuvent être obtenues à l'AIEA, auprès de la Section d'administration des contrats de recherche. Les PRC visent à faciliter la coopération mondiale dans divers domaines scientifiques et techniques, concernant aussi bien les applications médicales, agronomiques et industrielles des rayonnements que la technologie et la sûreté du secteur nucléo-électrique.



AIEA  **AIEA**
BULLETIN **ETATS MEMBRES**

Publication trimestrielle de la Division de l'information de l'Agence internationale de l'énergie atomique, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche)

Tél.: (43-1) 2060-21270

Télécopie: (43-1) 20607

Courrier électronique:

iaeo@iaea1.iaea.or.at

DIRECTEUR GENERAL: M. Hans Blix

DIRECTEURS GENERAUX ADJOINTS:

M. David Waller, M. Sueo Machi,

M. Victor Mourogov, M. Bruno Pellaud,

M. Jihui Qian, M. Morris Rosen (par interim)

DIRECTEUR, DIVISION DE L'INFORMATION:

M. David Kyd

REDACTEUR EN CHEF: M. Lothar H. Wedekind

SECRETAIRES DE REDACTION:

M. Rodolfo Quevenco, Mme Juanita Pérez,

Mme Brenda Blann

MISE EN PAGE/CONCEPTION:

Mme Hannelore Wilczek

RUBRIQUE ACTUALITES:

Mme S. Dallalah, Mme L. Diebold,

Mme A.B. de Reynaud, Mme R. Spiegelberg

PRODUCTION:

M. P. Witzig, M. R. Kelleher,

Mme U. Szer, M. W. Kreutzer,

M. G. Demal, M. A. Adler,

M. R. Luttenfeldner, M. F. Prochaska,

M. P. Patak, M. L. Nimetzki

SERVICES LINGUISTIQUES:

M. J. Rivals

EDITION FRANÇAISE: M. S. Drège, traduction;

Mme V. Laugier-Yamashita,

contrôle rédactionnel

EDITION ESPAGNOLE: Equipo de Servicios de

Traductores e Intérpretes (ESTI), La Havane

(Cuba), traduction;

M. L. Herrero, contrôle rédactionnel

EDITION CHINOISE: Service de traduction de

la Société industrielle de l'énergie nucléaire

de Chine, Beijing, traduction, impression,

distribution.

Le Bulletin de l'AIEA est distribué gratuitement à un nombre restreint de lecteurs qui s'intéressent aux activités de l'AIEA et aux utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire. Pour bénéficier de ce service, écrire à la rédaction du Bulletin. Des extraits des textes contenus dans le Bulletin de l'AIEA peuvent être utilisés librement sous réserve d'en mentionner la source. Toutefois, un article dont l'auteur n'est pas membre du personnel de l'AIEA ne peut être reproduit qu'avec la permission de l'auteur ou de l'organisme dont il émane, sauf s'il est destiné à servir de document de travail.

Les opinions exprimées par les auteurs des articles ou dans les publicités publiées dans le Bulletin de l'AIEA ne correspondent pas forcément à celles de l'Agence internationale de l'énergie atomique et n'engagent donc que les signataires ou les annonceurs.

Publicité

Les annonceurs sont priés d'adresser leur correspondance à la Division des publications de l'AIEA, Unité de la vente des publications et de la publicité, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

1957

Afghanistan

Afrique du Sud

Albanie

Allemagne

Argentine

Australie

Autriche

Bélarus

Brazil

Bulgarie

Canada

Corée, République de

Cuba

Danemark

Egypte

El Salvador

Espagne

Etats-Unis d'Amérique

Ethiopie

Fédération russe

France

Grèce

Guatemala

Haïti

Hongrie

Inde

Indonésie

Islande

Israël

Italie

Japon

Maroc

Monaco

Myanmar

Norvège

Nouvelle-Zélande

Pakistan

Paraguay

Pays-Bas

Pérou

Pologne

Portugal

République Dominicaine

Roumanie

Royaume-Uni

de Grande-Bretagne

et d'Irlande du Nord

Saint-Siège

Sri Lanka

Suède

Suisse

Thaïlande

Tunisie

Turquie

Ukraine

Venezuela

Viet Nam

Yougoslavie

1958

Belgique

Cambodge

Equateur

Finlande

Iran, Rép. islamique d'

Luxembourg

Mexique

Philippines

Soudan

1959

Iraq

1960

Chili

Colombie

Ghana

Sénégal

1961

Liban

Mali

Zaire

1962

Arabie Saoudite

Libéria

1963

Algérie

Bolivie

Côte d'Ivoire

Jamahiriya Arabe Libyenne

République Arabe Syrienne

Uruguay

1964

Cameroun

Gabon

Koweït

Nigeria

1965

Chypre

Costa Rica

Jamaïque

Kenya

Madagascar

1966

Jordanie

Panama

1967

Ouganda

Sierra Leone

Singapour

1968

Liechtenstein

1969

Malaisie

Niger

Zambie

1970

Irlande

1972

Bangladesh

1973

Mongolie

1974

Maurice

1976

Emirats Arabes Unis

Qatar

République-Unie de Tanzanie

1977

Nicaragua

1983

Namibie

1984

Chine

1986

Zimbabwe

1991

Lettonie

Lituanie

1992

Croatie

Estonie

Slovénie

1993

Arménie

République slovaque

République tchèque

1994

Iles Marshall

Kazakhstan

l'ex-République yougoslave

de Macédoine

Ouzbékistan

Yémen

1995

Bosnie-Herzégovine

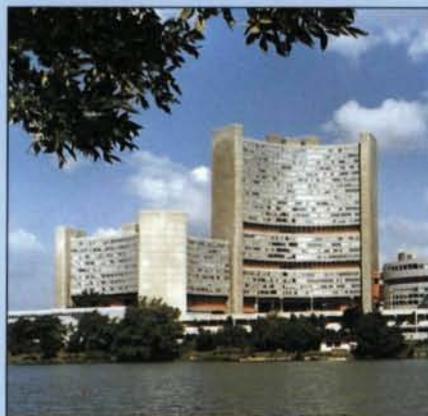
1996

Géorgie

Dix-huit ratifications étaient nécessaires pour l'entrée en vigueur du Statut de l'AIEA. Au 29 juillet 1957, les Etats figurant en caractères gras avaient ratifié le Statut.

L'année représente l'année de l'admission de l'Etat comme membre de l'AIEA. Les Etats ne figurent pas nécessairement sous le nom qu'ils avaient à l'époque.

L'admission des Etats dont le nom apparaît en italique a été approuvée par la Conférence générale mais ne prendra effet que lorsque les instruments juridiques nécessaires auront été déposés.



L'Agence internationale de l'énergie atomique, qui est née le 29 juillet 1957, est une organisation intergouvernementale indépendante faisant partie du système des Nations Unies. Elle a son siège à Vienne (Autriche) et compte plus d'une centaine d'Etats Membres qui coopèrent pour atteindre les principaux objectifs du Statut de l'AIEA: hâter et accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier et s'assurer, dans la mesure de ses moyens, que l'aide fournie par elle-même ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle n'est pas utilisée de manière à servir à des fins militaires.

Siège de l'AIEA, au Centre international de Vienne.

Until now, one of the biggest problems with reading personal exposure doses has been the size of the monitoring equipment. Which is precisely why we're introducing the Electronic Pocket Dosimeter (EPD) "MY DOSE mini™" PDM-Series.

These high-performance

dosimeters combine an easy-to-read digital display with a wide measuring range suiting a wide range of needs.

But the big news is how very small and lightweight they've become. Able to fit into any pocket and weighing just 50~90 grams,

the Aloka EPDs can go anywhere you go. Which may prove to be quite a sizable improvement, indeed.

SCIENCE AND HUMANITY

ALOKA

ALOKA CO., LTD.

5-22-1 Muro, Mitaka-shi, Tokyo 181, Japan

Telephone: (0422) 45-5111

Facsimile: (0422) 45-4058

Telex: 02822-344

To: 3rd Export Section
Overseas Marketing Dept.
Attn: N. Odaka

Model	Energy	Range	Application
PDM-101	60 keV ~	0.01 ~ 99.99 μ Sv	High sensitivity, photon
PDM-102	40 keV ~	1 ~ 9,999 μ Sv	General use, photon
PDM-173	40 keV ~	0.01 ~ 99.99 mSv	General use, photon
PDM-107	20 keV ~	1 ~ 9,999 μ Sv	Low energy, photon
PDM-303	thermal - fast	0.01 ~ 99.99 mSv	Neutron
ADM-102	40 keV ~	0.001 ~ 99.99 mSv	With vibration & sound alarm, photon



Safety, convenience and a variety of styles to choose from.



PDM-107



PDM-102



PDM-173



PDM-101



PDM-303



ADM-102