

VOL. 40, Nr. 4, 1998

VIENNE, AUTRICHE

AIEA

BULLETIN



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

冷战的遗产

A COLD WAR LEGACY

UN LEGS DE LA GUERRE FROIDE

НАСЛЕДИЕ ХОЛОДНОЙ ВОЙНЫ

UN LEGADO DE LA GUERRA FRIA

تركبة خلفها الحرب الباردة





WORLD ATOM



**INTERNET NEWS
AND
INFORMATION SERVICE**

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

SOMMAIRE

L'HÉRITAGE RADIOLOGIQUE

Résidus radioactifs de la guerre froide

Abel J. González

2

RETOUR À SEMIPALATINSK

Évaluation radiologique de l'ancien site d'essais nucléaires

Peter Stegnar & Tony Wrixon

12

ÉTUDE DE L'ATOLL DE BIKINI

Situation radiologique de l'atoll de Bikini et perspectives de retour de la population

Peter Stegnar

15

SOUS LA SURFACE DES MERS ARCTIQUES

Projet international d'évaluation des mers arctiques: récapitulatif

Kirsti-Liisa Sjöblom & Gordon Linsley

18

L'ÉTUDE DE MURUROA

Étude internationale de la situation radiologique de Mururoa et de Fangataufa

E. Gail de Planque

21

TRAVAIL D'ÉQUIPE SCIENTIFIQUE

Campagnes de prélèvements marins et terrestres à Mururoa et à Fangataufa

Pier Roberto Danesi & Pavel Peter Povinec

24

LA MIGRATION DES RADIONUCLÉIDES DANS LA GÉOSPHERE

Résidus radioactifs provenant des essais nucléaires souterrains

Robert Fry, Des Levins & Ernst Warnecke

30

DES ATOLLS VERS LA MER

Dispersion des radionucléides résiduels dans l'océan

Pavel Peter Povinec & Ekkehard Mittelstaedt

34

DOSES POTENTIELLES AU NIVEAU DES ATOLLS

Évaluation des doses de rayonnement attribuées aux matières radioactives résiduelles

Gordon Linsley & Andrew McEwan

38

GUERRE FROIDE – CHAUDES PARTICULES

Étude des retombées des essais nucléaires

Pier Roberto Danesi

43

RUBRIQUES DU BULLETIN DE L'AIEA

Actualités internationales...Données statistiques...Vacances de postes...

Publications...Réunions...PRC/Séminaires

47



RÉSIDUS RADIOACTIFS DE LA GUERRE FROIDE: L'HÉRITAGE RADIOLOGIQUE

ABEL J. GONZALEZ

L'un des traits dominants de la période historique connue sous le nom de "guerre froide" a été la production et les essais à grande échelle d'armes nucléaires. Ces activités militaires ont entraîné une production sans précédent de substances radioactives. Une partie de ces "résidus de la guerre froide" s'est retrouvée dans l'atmosphère et a été dispersée dans le monde. Certains d'entre eux sont restés dans des états relativement isolés dans des milieux géologiques souterrains sur le site de production ou d'essai. D'autres ont contaminé des zones parfois accessibles aux humains.

S'ajoutent à ce tableau d'autres scènes de l'héritage de la guerre froide. D'importantes quantités de déchets radioactifs et de produits dérivés sont stockés, déchets provenant de la production de matières destinées aux armes nucléaires. Ils devraient, un jour ou l'autre, être convertis à des fins pacifiques ou être expédiés en vue de leur élimination définitive.

En outre, les installations de production de matières nucléaires à vocation militaire, les sites d'essais nucléaires, et les navires à propulsion nucléaire seront tous, à plus ou moins brève échéance, déclassés — sur la seule péninsule de Kola, cent sous-marins nucléaires hors service attendent leur déclassé définitif. Ce processus va accroître l'accumulation de résidus radioactifs.

Il semble, aujourd'hui, que la guerre froide soit devenue juste un

autre chapitre de l'histoire. Le *Traité interdisant les essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, dans l'espace extra-atmosphérique et sous l'eau* a marqué la fin des essais d'armes nucléaires dans l'environnement et le *Traité d'interdiction complète des essais nucléaires* va peut-être mettre fin définitivement aux essais d'armes nucléaires. D'autres traités limiteront et, souhaitons-le, interdiront la production de matières nucléaires.

Tout cela est de bon augure. Il reste à notre génération, toutefois, de résoudre le problème des résidus radioactifs de la guerre froide, problème qui exige une action efficaces.

Au cours de la décennie écoulée, l'AIEA a été priée d'aider davantage les pays à assumer cet héritage de la guerre froide. Plusieurs évaluations scientifiques des situations radiologiques créées par la guerre froide ont été réalisées par des experts désignés par l'AIEA sur des sites d'essais nucléaires, des installations de production de matières nucléaires et des sites de décharge.

Le présent numéro du *Bulletin de l'AIEA* met en lumière ces activités de coopération dans le contexte de l'évolution de la situation et des préoccupations qui se font jour à l'échelon international.

Photo: contrôle de la radioactivité de noix de coco sur l'atoll de Mururoa pendant une étude réalisée par l'AIEA.

L'ÉVALUATION DES RÉSIDUS DE LA GUERRE FROIDE

L'AIEA exerce une responsabilité unique au sein du système des Nations Unies: elle est la seule organisation spécifiquement autorisée par ses statuts à fixer des normes internationales concernant la protection de la santé (contre les rayonnements ionisants) et à assurer leur application à la demande d'un État.

Il y a quelques années, l'AIEA — en collaboration avec cinq autres organisations internationales — a fixé de nouvelles normes internationales de radioprotection (*voir Bulletin de l'AIEA, Vol. 40, n° 2, juin 1998*). Ces normes ont essentiellement pour objet de contrôler l'exposition aux rayonnements liée aux activités pacifiques. Les principes qui sous-tendent ces normes, cependant, peuvent également s'appliquer à l'évaluation rétrospective des situations radiologiques créées par des activités militaires non réglementées telles que des essais d'armes nucléaires.

Ces dernières années, plusieurs États ont demandé à l'AIEA d'évaluer, par rapport à ses normes internationales de radioprotection, des situations radiologiques découlant d'activités datant de la

M. González est directeur de la Division de la radioprotection et de la sûreté des déchets de l'AIEA.

guerre froide. L'objectif était de protéger la santé publique et, en dernier ressort, de remettre en état l'environnement contaminé pour qu'il puisse être exploité par l'homme. Les études réalisées comme suite à ces demandes ont été la réponse apportée par l'Agence à l'héritage radiologique de la guerre froide (voir encadré et graphique, pages 4 et 5). Des évaluations ont été sollicitées par le Kazakhstan pour le site de Semipalatinsk; par les Îles Marshall pour Bikini; et, plus récemment, par la France pour Mururoa et Fangataufa en Polynésie française. Sur ces sites, des "expériences nucléaires" ont été effectuées pendant la période de la guerre froide. Ces expériences, qui ont consisté en des essais d'armes nucléaires (à fission et à fusion) et en des essais de sûreté d'armes nucléaires, ont été effectués aussi bien dans l'atmosphère qu'en sous-sol (voir encadrés pages 6, 8 et 9). L'un des sites d'essais étudiés a été un vaste polygone continental; trois autres étaient des atolls (voir encadré page 7). Un autre site étudié a été la mer de Kara dans l'Arctique, où d'importantes quantités de résidus radioactifs ont été immergés.

LES DIMENSIONS DU PROBLÈME

Aussi complètes ces études de l'AIEA peuvent-elles paraître, elles ne représentent qu'un catalogue incomplet et limité de l'héritage radiologique de la guerre froide.

Depuis le bombardement atomique d'Hiroshima et de Nagasaki au Japon jusqu'aux essais récents effectués par l'Inde et le Pakistan, plus de 2400 essais d'armes nucléaires ont eu lieu dans le monde. En outre, d'importantes quantités de matières nucléaires ont été produites à des fins militaires. Toutes ces activités ont produit d'énormes quantités de résidus radioactifs. Leurs niveaux et effets ont été étudiés par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des

rayonnements ionisants (UNSCEAR), qui en a régulièrement rendu compte à l'Assemblée générale des Nations Unies.

LES ESSAIS D'ARMEMENTS NUCLÉAIRES

D'après l'UNSCEAR, il existe — outre les sites étudiés par l'AIEA — plusieurs autres régions où des essais d'armes nucléaires ont été effectués et où il est possible que subsistent des résidus radioactifs.

Il s'agit notamment de sites situés dans les régions suivantes: Algérie (Reggane et In-Ekker); Australie (Monte Bello, Emu et Maralinga); Chine (Lop Nor); Îles Marshall (atoll d'Enwetak); Fédération de Russie (Nouvelle Zemle, Totsk et Kapoustine Yar); États-Unis d'Amérique (Nevada et Amchitka/Alaska); divers endroits des océans Pacifique et Atlantique dont les îles Malden, Christmas et Johnston, ainsi que les sites indiens et pakistanais où des essais ont été effectués récemment.

Le site d'essai du Nevada a été le théâtre de 84 essais nucléaires atmosphériques; 81 essais ont été effectués entre 1951 et 1958, et trois autres en 1962. Plus de 900 essais souterrains, dont on a appris que 32 avaient produit des résidus consécutifs à une ventilation, ont eu lieu entre 1951 et 1992. L'essai souterrain le plus important aux États-Unis a eu lieu en 1971 à Amchitka (Alaska).

En Nouvelle Zemle, région arctique vaste et isolée, un important programme d'essais atmosphériques a été mis en œuvre. On y a effectué plusieurs essais à haute altitude, au moins un essai à la surface terrestre, deux essais à la surface de la mer, trois essais sous-marins et plusieurs essais souterrains.

Les essais effectués dans le Pacifique (îles Malden et Christmas) en 1957 et 1958 ont consisté en des explosions

déclenchées au dessus de l'océan ou en des explosions d'engins suspendus au dessus de la terre par des ballons. Douze essais, essentiellement des essais de surface, ont également été effectués entre 1952 et 1957 sur trois sites australiens: îles Monte Bello, Emu et Maralinga. Plusieurs essais de sûreté effectués sur les sites de Maralinga et d'Emu ont entraîné la dispersion de plutonium sur de vastes zones.

En Algérie, les essais nucléaires ont compris des essais à faible rendement effectués sur les sites de Reggane et In-Ekker (Sahara algérien) en 1960 et 1961.

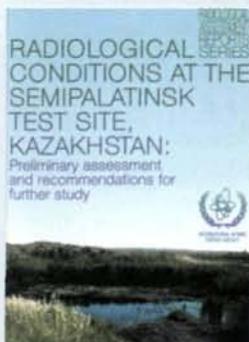
Les essais effectués sur le site de Lop Nor en Chine occidentale ont consisté en 22 essais atmosphériques réalisés entre 1964 et 1980, tandis que les essais souterrains se sont poursuivis jusqu'en 1996. Toujours en Asie, un engin nucléaire a été testé en Inde en 1974, et des essais ont eu lieu en mai 1998 tant en Inde qu'au Pakistan.

Pour résumer, 2408 expériences nucléaires ont été signalées à l'UNSCEAR, dont 541 essais atmosphériques et 1867 essais souterrains. Le rendement* total de l'ensemble des essais s'est élevé à 530 mégatonnes: 440 mégatonnes pour les essais atmosphériques et 90 mégatonnes pour les essais souterrains. Le rendement est la quantité d'énergie produite par l'explosion nucléaire. La connaissance des rendements et d'autres paramètres d'essais permet aux scientifiques d'établir l'activité* et la composition

*Le terme "rendement" est généralement exprimé en kilotonnes ou mégatonnes, une kilotonne équivalant à 1000 tonnes de trinitrotoluène (TNT) et une mégatonne équivalant à un million de tonnes de TNT. Pour éviter toute ambiguïté, il a été convenu qu'une kilotonne équivalait exactement à la libération d'une énergie explosive de 10^{12} calories.

ÉVALUER L'HÉRITAGE DE LA GUERRE FROIDE: LA RÉPONSE DE L'AIEA

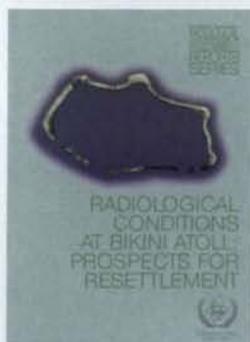
Au cours des décennies passées, les pays se sont tournés vers l'AIEA pour évaluer les effets radiologiques des essais nucléaires passés et des pratiques de rejet. Ont notamment été réalisées les évaluations suivantes:



Semipalatinsk (Kazakhstan). En 1993, le Gouvernement kazakh a informé l'AIEA de sa préoccupation concernant la situation radiologique à Semipalatinsk, où des essais d'armes nucléaires ont été effectués de 1949 à 1989. Il a sollicité une assistance, et une évaluation préliminaire de Semipalatinsk a ensuite été effectuée (voir article page 12). Plus de 450 essais atmosphériques et souterrains ont

été réalisés sur ce site. Bien que l'étude préliminaire de l'AIEA ait pu offrir des assurances raisonnables quant à la sûreté de la population résidente permanente de la région, elle a fait ressortir des niveaux très élevés de résidus radioactifs dans de vastes zones du site proprement dit: des doses de rayonnements pouvant atteindre 140 mSv par an seraient reçues si le site était habité en permanence. Ces observations ne tiennent pas compte des conséquences radiologiques potentielles des essais souterrains effectués à Semipalatinsk, que l'étude de l'AIEA n'a pas évaluées.

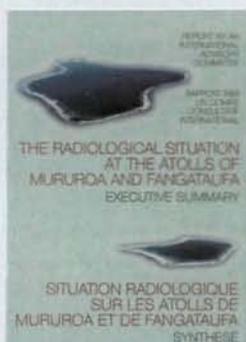
Atoll de Bikini (Îles Marshall). En 1994, le gouvernement de la République des Îles Marshall — archipel de l'océan



Pacifique composé d'environ trente atolls et de quelques îles récifales — a sollicité l'assistance de l'AIEA. Cette demande avait pour objet de réaliser une étude internationale indépendante de la situation radiologique prévalant sur l'atoll de Bikini, et d'étudier et de recommander des stratégies concernant l'éventuelle réhabilitation de l'atoll par les Bikiniens. Un important

programme d'essais a été réalisé à cet endroit. Avant le début des essais, les Bikiniens avaient été évacués loin de leur lieu de résidence sur l'atoll de Bikini — l'île de Bikini — et ils étaient maintenant désireux de retourner sur leur terre natale.

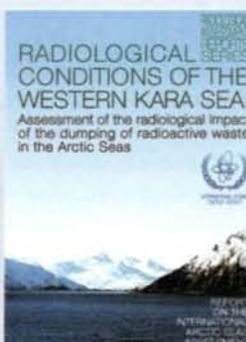
L'étude de l'AIEA, qui a été publiée récemment, a conclu que l'île de Bikini ne devrait pas être habitée de nouveau en permanence dans les conditions radiologiques actuelles, car les doses de rayonnement individuelles pouvaient atteindre des niveaux aussi élevés que 15 mSv par an, d'autant plus que des mesures correctives relativement simples, telles que la fertilisation des sols, pouvaient facilement atténuer ces doses. Si ces mesures étaient prises, l'étude a conclu que l'île de Bikini pouvait être habitée de nouveau en toute sûreté (voir article page 15).



Mururoa et Fangataufa (Polynésie française). En août 1995, la France a été le premier pays disposant de l'arme nucléaire à demander à l'AIEA d'évaluer un site d'essais nucléaires, à savoir la situation radiologique prévalant sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa en Polynésie française. La France avait effectué 193 expériences nucléaires sur ces atolls. Comme suite à la demande française, l'AIEA a

organisé l'Étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa — étude qui devait devenir l'une des plus importantes évaluations radiologiques jamais effectuées dans le cadre du système des Nations Unies (voir articles pages 21, 24, 30, 34 et 38). Cette étude a récemment été achevée et publiée par l'AIEA en huit volumes (voir encadré page 23).

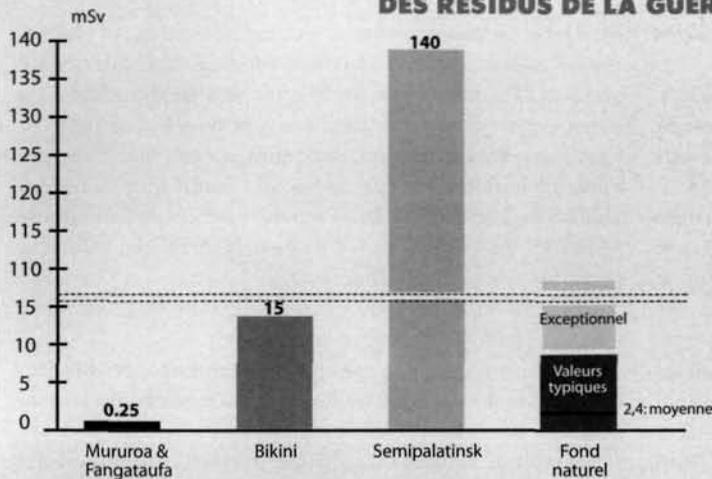
Les résultats de l'étude ont été encourageants: les atolls, qui n'ont jamais été habités en permanence, pourrait l'être en toute sûreté à l'avenir car les doses les plus élevées de rayonnements chuteront en dessous du niveau négligeable de 0,25 mSv par an dans les conditions hypothétiques d'habitation les plus extrêmes.



Mers arctiques (Fédération de Russie). En 1993, la Présidence de la Fédération de Russie a fait rapport sur les immersions de déchets radioactifs opérés par l'ex-Union soviétique en mer de Kara. La quantité de matières radioactives immergées estimée par la suite s'est révélée énorme: environ 37 petabecquerels. L'annonce russe a suscité de vives préoccupations, notamment parmi les Parties

contractantes à la Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et autres matières vis-à-vis desquelles l'AIEA a des obligations techniques particulières. En conséquence, un projet international d'évaluation a été entrepris et récemment achevé (voir article page 18). Bien que la quantité de matières radioactives soit importante, les résultats du projet ne se sont pas révélés alarmants pour la santé et la sûreté publiques. L'étude a montré qu'essentiellement en raison de l'énorme capacité de dispersion des eaux des océans et de l'isolement de la mer de Kara, les doses de rayonnement potentielles pour les humains seraient minimales. Seul le personnel militaire patrouillant les fjords à proximité des sites d'immersion risquaient de recevoir des doses supérieures aux niveaux de fond naturels.

DOSES DE RAYONNEMENT ANNUELLES MAXIMALES PROVENANT DES RÉSIDUS DE LA GUERRE FROIDE



Le graphique montre les doses de rayonnement annuelles maximales que recevraient d'hypothétiques individus habitant les sites étudiés par l'AIEA. Il convient de noter que toute comparaison des résultats de ces études par des personnes non qualifiées peut être trompeuse, en raison des différentes caractéristiques des tests et des sites où ces tests ont été effectués ainsi qu'en raison de l'hypothèse utilisée.

À titre de référence, les doses de fond naturelles annuelles par an sont également indiquées. Les doses sont exprimées en millisieverts, ainsi qu'on l'explique ci-après.

La dose de rayonnement est l'énergie absorbée à partir de rayonnements par masse unitaire de matière. Aux fins de la radioprotection, cette dose est pondérée par deux facteurs. Le premier tient compte de la mesure dans laquelle un type donné de rayonnement produit des effets sur la santé. Le second tient compte des différences de sensibilité des organes humains aux rayonnements. L'unité de dose est le joule par kilogramme, mais le terme sievert (Sv) est utilisé comme unité de dose pondérée. Le présent graphique utilise le millisievert (mSv), qui équivaut à un millième de sievert. La dose moyenne absorbée dans le monde par les individus du fait des rayonnements de fond naturels est de 2,4 mSv par an.

isotopique des résidus radioactifs produits par l'essai.

Le rendement de 440 mégatonnes produit par les explosions atmosphériques a libéré dans l'environnement la quantité impressionnante de milliers d'exabecquerels de radioactivité (voir tableau page 6). Cette radioactivité s'est dispersée et déposée sous forme de retombées, en partie locales et en partie mondiales (voir encadré page 9).

Les résidus radioactifs provenant des 90 mégatonnes explosées en sous-sol sont globalement confinés dans les formations géologiques. Toutefois, ils risquent au cours des siècles de se déplacer à travers la géosphère et de gagner, pour finir, l'environnement (voir encadré page 8).

L'héritage radiologique des essais nucléaires offre de multiples facettes. Il est imputable, pour l'essentiel, aux matières radioactives résiduelles provenant d'essais de sûreté d'armes nucléaires ainsi qu'aux retombées locales causées par les essais atmosphériques. Cet héritage englobe en outre la migration potentielle des résidus radioactifs et les opérations de ventilation effectuées à l'issue d'essais souterrains.

LA PRODUCTION DE MATIÈRES DESTINÉES AUX ARMEMENTS

La production d'armes nucléaires nécessite certaines quantités

d'uranium enrichi ou de plutonium, pour les engins à fission, et de tritium et de deutérium pour les engins à fusion. Le cycle du combustible, dans les applications militaires, est analogue à celui des programmes civils de production d'énergie électrique: extraction et concentration de l'uranium, enrichissement de l'uranium, fabrication du combustible, exploitation de réacteurs de production des matériaux et retraitement du combustible, principalement pour séparer le plutonium. L'une des principales différences, cependant, est que les programmes civils relevaient généralement d'organes de réglementation indépendants, ce qui n'était pas le cas des programmes militaires.

Des radionucléides ont été libérés à différents stades du cycle de production de matières nucléaires militaires, mais surtout lors du retraitement du combustible et de la séparation du plutonium.

Aux États-Unis, les usines de production de matières nucléaires à vocation militaire se situent

**Le terme "activité" (ou "radioactivité") d'une substance radioactive exprime la vitesse de transformation nucléaire de radionucléides émettant des rayonnements. Il correspond au nombre de transformations se produisant dans cette matière par unité de temps. L'unité d'activité est la seconde réciproque, appelée becquerel (Bq). Étant donné qu'un Bq exprime une très faible activité, on utilise les multiples suivants: 1000 Bq ou kilobecquerel (kBq); 1000000 Bq ou mégabecquerel (MBq); 1×10^9 Bq ou gigabecquerel (GBq); 1×10^{12} Bq ou terabecquerel (TBq); 1×10^{15} Bq ou petabecquerel (PBq); 1×10^{18} Bq ou exabecquerel (EBq). Afin de saisir l'échelle du becquerel, on notera qu'il est recommandé, dans le Codex Alimentarius, que la radioactivité des aliments ne dépasse pas 1000 becquerels de césium environ, ou un becquerel de plutonium, par kilogramme d'aliment.*

LES "EXPÉRIENCES NUCLÉAIRES"

Les expériences nucléaires ont été de deux ordres: *essais nucléaires* et *essais de sûreté*.

■ Dans un **essai nucléaire**, on fait exploser un engin nucléaire, ce qui libère d'importantes quantités d'énergie. L'explosion est produite par fission nucléaire, par fusion nucléaire, ou par une combinaison des deux.

— Dans un **engin à fission**, deux masses sous-critiques de matière fissile (uranium-235 et du plutonium-239, par exemple) sont réunies pour produire une masse surcritique. Le noyau lourd se divise en deux parties (les produits de fission) qui émettent ensuite des neutrons, libérant une énergie équivalant à la différence entre la masse propre du noyau originel et la masse propre des produits de fission et des neutrons.

— Dans un **engin à fusion**, des noyaux atomiques de faible numéro atomique fusionnent pour former un noyau plus lourd libérant d'importantes quantités d'énergie. La réaction devient auto-entretenue à très hautes températures, qui sont obtenues à l'aide d'un engin à fission interne entouré de matière hydrogénée légère (deutérium et deutériure de lithium, par exemple).

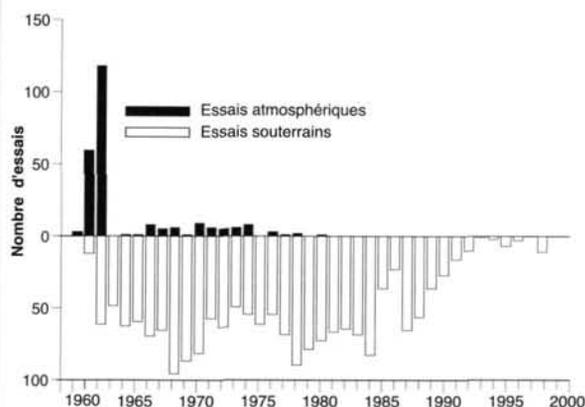
■ Dans un **essai de sûreté**, des engins nucléaires plus ou moins élaborés sont soumis aux conditions simulées d'un accident. Pendant ces essais, le cœur de l'arme nucléaire est détruit par des explosifs conventionnels, ce qui ne s'accompagne d'aucune ou, dans quelques cas, que d'une très faible libération d'énergie de fission. Tandis que les résidus radioactifs d'un essai nucléaire sont les produits de fission et de fusion, les résidus radioactifs d'un essai de sûreté sont la matière fissionnable proprement dite.

Des essais nucléaires et des essais de sûreté ont été réalisés aussi bien dans l'atmosphère qu'en sous-sol.

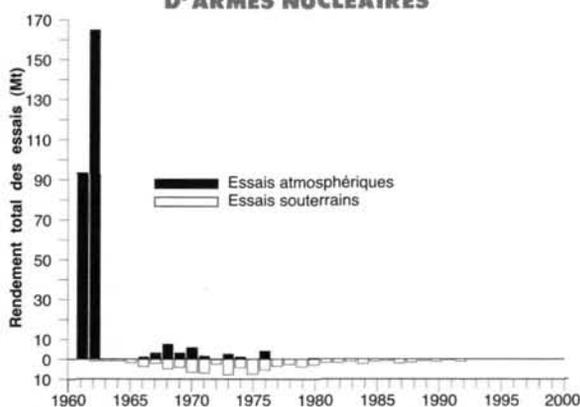
Le tableau et les graphiques présentent des données correspondant à des essais nucléaires qui ont été effectués depuis 1960.

Le tableau couvre l'activité de dix-neuf radionucléides produits, libérés dans l'atmosphère, et dispersés dans le monde lors d'essais nucléaires atmosphériques. Les données indiquent la libération normalisée correspondant aux engins à fission et fusion et l'activité totale libérée par l'ensemble des tests dans le

RÉPARTITION DES EXPÉRIENCES NUCLÉAIRES



RÉPARTITION DES RENDEMENTS DES ESSAIS D'ARMES NUCLÉAIRES



ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES PRODUITS LORS D'EXPLOSIONS NUCLÉAIRES ATMOSPHÉRIQUES

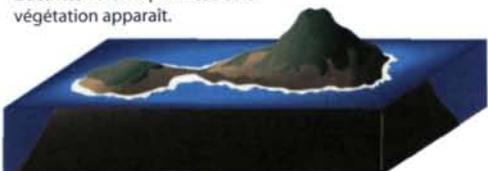
Radionucléide/période	Activité estimative (retombées locales exclues)			Activité estimative (retombées locales exclues)		
	Libération normalisée (Pbq/mégatonne)		Activité totale des essais réalisés dans le monde (EBq)	Libération normalisée (Pbq/mégatonne)		Activité totale des essais réalisés dans le monde (EBq)
	Fission	Fusion		Fission	Fusion	
Tritium	12,32 ans	0,026	740	240		
Carbone-14	5730 ans		0,67	0,22		
Manganèse-54	312,5 jours	-	15,9	5,2		
Fer-55	2,74 ans	-	6,1	2		
Strontium-89	50,55 jours	590	-	91,4		
Strontium-90	28,6 ans	3,90	-	0,604		
Yttrium-91	58,51 jours	748	-	116		
Zirconium-95	64,03 jours	922	-	143		
Ruthénium-103	39,25 jours	1540	-	238		
Ruthénium-106	371,6 jours	76,4	-	11,8		
Antimoine-125	2,73 ans	3,38	-	0,524		
Iode-131	8,02 jours	4200	-	651		
Césium-137	30,14 ans	5,89	-	0,912		
Barium-140	12,75 jours	4730	-	732		
Cérium-141	32,50 jours	1640	-	254		
Cérium-144	284,90 jours	191	-	29,6		
Plutonium-239	24,100 ans	-	-	0,00652		
Plutonium-240	6560 ans	-	-	0,00435		
Plutonium-241	14,40 ans	-	-	0,142		

Note: à des fins de simplification, on part de l'hypothèse que tout le carbone-14 est produit par fusion. Source: UNSCEAR.

11 millions d'années
Des éruptions volcaniques créent de nouvelles îles sous l'océan.



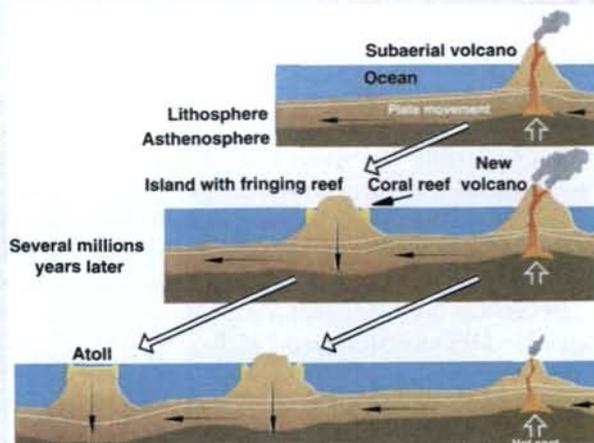
10 millions d'années
L'activité volcanique cesse et la végétation apparaît.



5 millions d'années
À mesure que l'île s'affaisse, des récifs coralliens se développent sur ses flancs.



Aujourd'hui
L'île est devenue un atoll - étroite ceinture de récif corallien entourant un lagon.



EXPÉRIENCES NUCLÉAIRES SUR DES ATOLLS

De nombreuses expériences nucléaires étudiées par l'AIEA ont été effectuées sur des *atolls* — récifs coralliens de forme circulaire entourant un lagon. Le récif forme une ceinture étroite dépassant de quelques mètres seulement le niveau de la mer. En de nombreux endroits, des chenaux irréguliers appelés "hoas" ont été creusés par l'océan, créant ainsi une chaîne d'îlots appelés "motus". Les atolls sont le résultat de volcans qui, il y a des millions d'années, ont surgi de la mer, créant des îles qui se sont ensuite lentement affaissées. Les ceintures ont été formées par des dépôts de coraux morts qui se sont accumulés autour des îles à mesure que celles-ci s'affaissaient sous l'eau. Malgré son origine volcanique, un atoll ne comporte aucun risque d'éruption volcanique. Cela s'explique par le fait que l'île originelle, à mesure qu'elle s'affaissait, a été éloignée du "point chaud" volcanique par la dérive des plaques géotectoniques terrestres.

notamment à Fernald, dans l'Ohio (traitement des matériaux), à Oak Ridge dans le Tennessee (enrichissement, séparation, laboratoires), à Rocky Flats au Colorado (fabrication de composantes d'armes), à Hanford dans l'État de Washington (production de plutonium) et à Savannah River en Caroline du Sud (production de plutonium). En Fédération de Russie, les installations se situent notamment à Tchéliabinsk, à Krasnoïarsk et à Tomsk. Au Royaume-Uni, elles se situent à Springfield (traitement de l'uranium et fabrication du combustible), à Capenhurst (enrichissement), à Sellafield (réacteurs de production et

retraitement), à Aldermaston (fabrication d'armes) et à Harwell (recherche). Des réacteurs de production de plutonium ont été exploités à Sellafield (deux réacteurs modérés par graphite et refroidis par gaz, connus sous le nom de piles de Windscale), puis à Calder Hall sur le site de Sellafield et à Chapelcross en Écosse. Un incendie, dont on a beaucoup parlé, dans l'un des réacteurs de Windscale en 1957 a entraîné la libération de radionucléides. En France, le premier réacteur expérimental, nommé EL1 ou Zoé, a divergé en 1948 et une usine de retraitement pilote a été mise en service en 1954. Un deuxième réacteur expérimental,

EL2, a été construit au centre de Saclay. Entre 1956 et 1959, trois réacteurs de production plus importants ont été mis en service au complexe de Marcoule sur le Rhône. Ces réacteurs modérés par graphite et refroidis par gaz ont respectivement fonctionné jusqu'en 1968, 1980 et 1984. Une importante usine de retraitement a également été construite et mise en service sur le site de Marcoule en 1958. Deux autres usines de retraitement ont été construites à La Hague, dans le nord de la France.

En Chine, le premier réacteur expérimental a été construit à Beijing, et une usine d'enrichissement d'uranium a été

ESSAIS D'ARMES NUCLÉAIRES SOUTERRAINS

Les essais d'armes nucléaires souterrains ont commencé en 1951. Après 1963, lorsque le traité d'interdiction partielle des essais d'armes nucléaires a interdit les essais atmosphériques, d'importants programmes d'essais souterrains ont été mis sur pied. Le Traité d'interdiction complète des essais nucléaires, même s'il n'a pas encore été ratifié par tous les pays, pourra effectivement mettre un terme à la pratique des essais nucléaires souterrains.

Le nombre total d'essais souterrains a grandement dépassé celui des essais atmosphériques, même si leur rendement total a été nettement inférieur.

Les essais souterrains ont été, pour la plupart, d'un rendement inférieur, en particulier lorsqu'on s'efforçait de confiner les débris nucléaires. À court terme, ce n'est que lorsqu'on a ventilé ou diffusé des gaz à la suite de ces essais, comme cela a parfois été le cas, qu'il a pu se produire une contamination de l'environnement.

Plusieurs essais ont consisté en une détonation simultanée de charges nucléaires dans des puits ou des tunnels soit uniques, soit séparés. Ces essais dits "en salve" ont été effectués pour des raisons de rendement ou d'économie. Ils empêchaient également toute détection à distance par des systèmes de mesure sismique.

Le nombre total d'essais souterrains enregistrés par l'UNSCEAR pour tous les pays s'élève à 1867. On ne dispose pas toujours du

rendement de chaque essai, mais on estime à 90 mégatonnes le rendement total. Il serait souhaitable de disposer de données plus complètes sur les essais au cours desquels une ventilation a été effectuée, et d'une estimation des quantités de matières radioactives dispersées alors dans l'environnement.

Les essais souterrains ont généralement été effectués dans des socles géologiquement appropriés à des profondeurs de plusieurs centaines de mètres, mais certains d'entre eux ont eu lieu dans des emplacements inappropriés.

Chaque explosion produit une chaleur intense et des pressions élevées:

En quelques dizaines de microsecondes, les réactions nucléaires sont terminées. L'énergie produite par les rayonnements vaporise la roche, ce qui entraîne une forte accumulation de pression et une onde de choc intense.

En quelques centaines de microsecondes, l'onde de choc transforme la roche

environnante et la chaleur produite vaporise et fait fondre le sol et les matières environnantes.

En quelques dizaines de millisecondes, la cavité se stabilise et la lave fondue coule vers le fond pour former un bassin lenticulaire appelé "ménisque", qui piège la plupart des radionucléides réfractaires.

En quelques minutes à quelques heures, la roche fondue se solidifie et le plafond de la cavité s'effondre, formant une cavité grossièrement cylindrique. Lorsqu'il refroidit, le sol fondu se solidifie en une lave vitreuse. Enfin, la cavité remplie d'éboulis se remplit d'eau, qui s'infiltre à travers le sol environnant.

Les matières radioactives résiduelles provenant des essais nucléaires souterrains sont, pour la plupart, piégées dans la lave. Certains radionucléides, toutefois, se déposent sur les éboulis et peuvent se mélanger à l'eau présente dans la cavité.

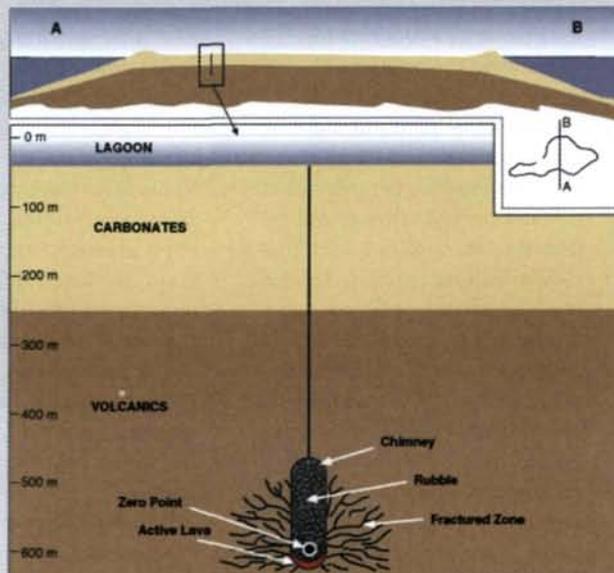
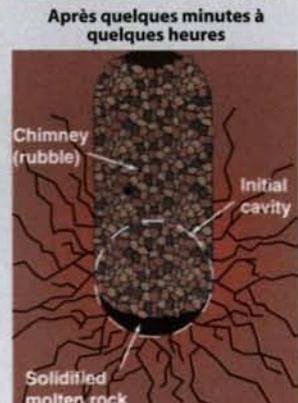
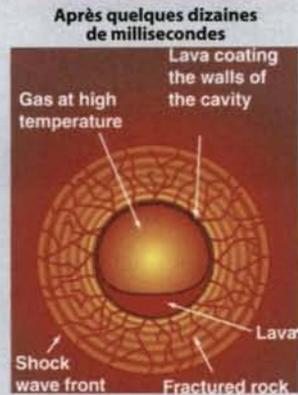
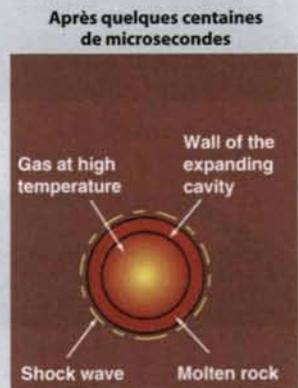
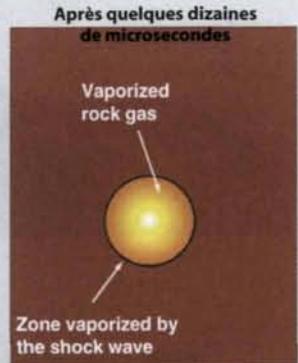


Figure: essai souterrain effectué dans un atoll.



ESSAIS D'ARMES NUCLÉAIRES ATMOSPHÉRIQUES

Des essais d'armes nucléaires atmosphériques ont été effectués en différents endroits à la surface et dans l'atmosphère terrestres. Les engins nucléaires ont notamment été montés sur des tours, placés dans des barges flottant sur l'océan, suspendus à des ballons, lâchés d'avions et lancés à haute altitude par des fusées.

Le nombre d'essais atmosphériques a culminé pendant les périodes 1951-1958 et 1961-1962. En 1959, il a été déclaré un moratoire qui a, en règle générale, été respecté en 1960. Les années les plus importantes en termes de rendement total des explosions ont été 1962, 1961, 1958 et 1954.

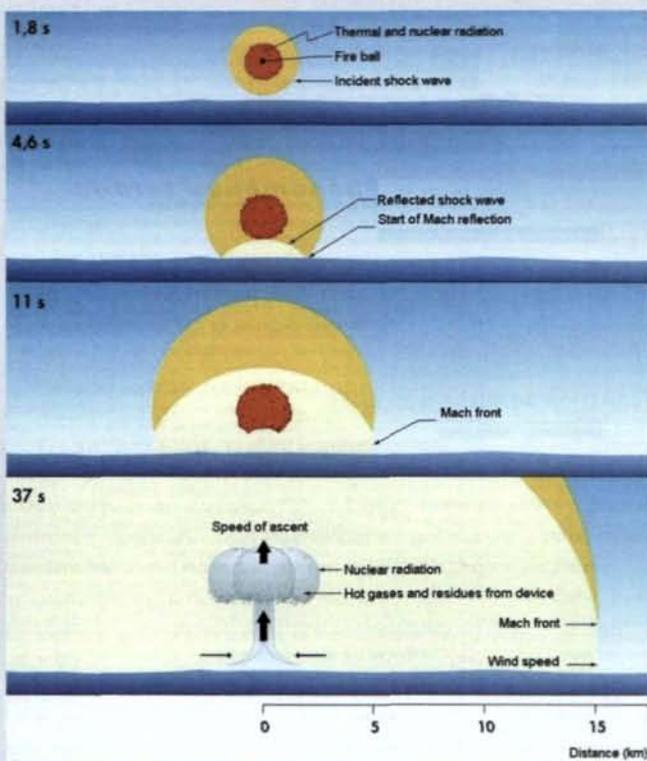
Le nombre total d'essais atmosphériques effectués par l'ensemble des pays s'est élevé à 541, pour un rendement total de 440 mégatonnes. Vingt-cinq essais atmosphériques ont représenté près de 66% du rendement total de tous les essais.

En fonction de l'altitude de l'explosion, les résidus radioactifs ont pénétré l'environnement local, régional ou planétaire. Ils ont produit les doses collectives de rayonnement d'origine humaine les plus élevées enregistrées à ce jour.

Résidus radioactifs. Les résidus radioactifs provenant d'un essai nucléaire atmosphérique se répartissent entre les surfaces terrestres ou aquatiques locales et les régions troposphérique et stratosphérique de l'atmosphère. Leur dépôt dépend du type, du lieu et du rendement de chaque essai.

La partie des résidus radioactifs qui se dépose localement autour du site est appelée "retombées locales". Le reste se disperse dans l'atmosphère sous forme de retombées troposphériques et stratosphériques.

Les retombées locales provenant des essais de surface peuvent comprendre jusqu'à 50% de la production de résidus radioactifs et comprennent



d'importantes particules radioactives sous forme d'aérosols. Ces particules se déposent dans un rayon d'environ 100 kilomètres autour du site d'essai.

Généralement, lorsque l'altitude de la détonation est suffisamment élevée, la boule de feu créée par l'explosion n'atteint pas le niveau du sol. Cela minimise la production de retombées locales (voir figure).

Les retombées troposphériques consistent en des

aérosols de plus petite taille qui ne sont pas transportés à travers la tropopause après l'explosion et qui se déposent pour une durée de séjour moyenne pouvant atteindre un mois. Pendant ce temps, les débris, même s'ils ne sont pas bien mélangés, se dispersent en latitude suivant une trajectoire régie par la direction des vents. Du point de vue de l'exposition humaine, les retombées troposphériques jouent un rôle important car elles renferment des radionucléides ayant une période comprise entre quelques jours et deux mois.

Les retombées stratosphériques, qui forment une grande partie des retombées totales, sont le fait de particules transportées vers la stratosphère. Elles donnent ultérieurement lieu à des retombées planétaires se produisant, pour la plus grande partie, dans l'hémisphère d'injection. Les retombées stratosphériques représentent la majeure partie des résidus de produits de fission à longue période dans le monde.

Ces dernières années, des informations plus détaillées sur les essais d'armes nucléaires atmosphériques ont vu le jour. On a, en particulier, corrigé le nombre et le rendement des explosions et l'on a estimé les résidus radioactifs déposés par les retombées locales.

construite à Lanzhou dans la province de Gansu. Le réacteur de production a été mis en service en 1967, et l'usine de retraitement en 1968. Des activités de production de plutonium et de retraitement ont été mises en œuvre au complexe de Jinquan, également dans la province de Gansu, où des armes ont été assemblées. Des activités de production et de retraitement ont également eu lieu à Guangyuan, dans la province de Sichun, où des installations plus importantes ont été construites.

Dans le monde, certains des sites de production de matières nucléaires à vocation militaire ont intégré des activités liées à des programmes civils de production d'énergie nucléaire. Sur certains d'entre eux ont lieu des activités de démantèlement d'armes nucléaires.

Des quantités relativement élevées de résidus radioactifs ont été libérées dans l'environnement pendant les premières années d'exploitation de certaines de ces installations alors que de fortes pressions s'exerçaient pour faire respecter les calendriers de production et que les contrôles étaient parfois lâches. De surcroît, plusieurs accidents se sont combinés pour accroître le volume des rejets, en particulier dans l'ancienne Union soviétique (*voir encadré page suivante*).

Les quantités de résidus radioactifs provenant de la production de matières nucléaires à vocation militaire ne sont pas pleinement connues. L'UNSCEAR continue de rassembler et de publier les informations fournies par les États.

LES PERSPECTIVES

L'évolution récente de la situation permet d'être optimiste en ce qui concerne la production et la manipulation des résidus de la guerre froide:

■ Le 22 septembre 1995, la Conférence générale de l'AIEA a abordé la question des conséquences radiologiques des essais d'armes nucléaires. Dans une résolution qui fera date, elle a appelé tous les États concernés à assumer leurs responsabilités, c'est-à-dire de faire en sorte que les sites où des essais nucléaires ont été effectués soient surveillés scrupuleusement et de prendre les mesures appropriées pour éviter tout effet néfaste sur la santé, la sûreté et l'environnement pouvant résulter de ces essais.

■ En septembre 1998, la Conférence générale de l'AIEA — tout en rappelant sa résolution de 1995 et en se félicitant des conclusions encourageantes de l'étude consacrée à Mururoa et à Fangataufa — a souligné que ces conclusions ne devaient pas servir à justifier la mise au point et les essais d'armes nucléaires, et elle a prié le directeur général de l'AIEA de rendre compte de l'évolution de la situation dans ce domaine.

■ La Conférence générale de 1998 a en outre instamment prié tous les États d'adhérer au Traité d'interdiction complète des essais nucléaires. Elle a également exhorté tous les États, en particulier ceux ayant les moyens de produire des matières fissiles, à soutenir les négociations menées en vue de l'élaboration d'un traité interdisant la production de matières fissiles destinés à des armes nucléaires ou à d'autres engins explosifs nucléaires. Enfin, la Conférence sur le désarmement a décidé d'engager des négociations concernant ce traité.

■ Les représentants américains et russes participant à la Conférence générale de l'AIEA en 1998 ont décidé d'attirer des entreprises commerciales dans dix villes nucléaires russes. Aux termes de cet accord, les États-Unis feront profiter les dix villes russes de leur expérience des entreprises privées et mettront en rapport des

entreprises privées américaines et des installations russes correspondantes pour fabriquer, commercialiser et vendre des produits commerciaux. Une démarche analogue a été tentée dans des villes nucléaires américaines telles que Hanford et Oak Ridge.

■ Un accord récent conclu entre la Norvège et la Russie institue une coopération dans plusieurs domaines. Il porte sur le déclassé du combustible nucléaire usé provenant de sous-marins à propulsion nucléaire; la mise en service d'une installation de stockage temporaire dans la baie d'Andreïeva à Mourmansk (péninsule de Kola); la mise en service d'installations de stockage provisoire de résidus radioactifs à Tchéliabinsk et sur un chantier naval à Severodvinsk (Arkhangel'sk); et le démantèlement, à Mourmansk, d'une structure flottante stockant actuellement plus de 600 conteneurs endommagés et dangereux de combustible nucléaire usé provenant de navires à propulsion nucléaire.

L'AIEA continue, dans ce contexte mondial évolutif, d'aider les pays à gérer l'héritage radiologique de la guerre froide. Il est encourageant de noter que les organisations non gouvernementales soucieuses de protection de l'environnement appuient les efforts déployés par l'Agence*.

Lors de la Conférence de 1998 consacrée à l'étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa, le directeur général de l'AIEA, Mohamed ElBaradei, a résumé

**Lors de la Conférence de l'AIEA sur l'Étude de Mururoa tenue en 1998, le représentant de Greenpeace International a déclaré que "l'Étude pourrait servir de modèle pour des études analogues d'anciens sites d'essais nucléaires".*

PRODUCTION DE MATIÈRES NUCLÉAIRES DANS L'ANCIENNE UNION SOVIÉTIQUE

Trois sites de l'ancienne Union soviétique ont été d'importants centres de production de matières destinées aux armements nucléaires:

■ Le complexe de production de matières nucléaires **Mayak** est situé dans la région de Tchéliabinsk, entre les villes de Kychtym et de Kasli, à proximité de la rive orientale du lac Irtyach. L'exploitation de réacteurs à uranium-graphite pour la production de plutonium et d'une usine de retraitement a commencé en 1948. Des rejets relativement importants de matières radioactives dans la rivière Techa proche se sont produits entre 1949 et 1956. Un contrôle des rejets, initialement inexistant, a été introduit au début des années 60. Plus de 100 PBq de produits de fission et d'isotopes de plutonium ont été rejetés sous forme d'effluents dans l'atmosphère et dans la rivière Techa entre 1949 et 1956. En avril-mai 1951, une forte inondation a entraîné la contamination de la plaine alluviale utilisée pour l'élevage et la fenaison. En 1956, les habitants des sections les plus élevées de la rivière se sont installés ailleurs et la partie la plus contaminée de la plaine alluviale a été enclose. Pour certains habitants, cependant, la contamination de la rivière Techa est restée une source importante d'exposition jusqu'à ce jour.

Le 29 septembre 1957, une panne du système de refroidissement d'un réservoir de stockage contenant des déchets radioactifs liquides a entraîné une explosion chimique et à une importante libération de radionucléides. L'activité totale dispersée hors-site sur le territoire des régions de Tchéliabinsk, de Sverdlovsk et de Tioumen s'est élevée à environ 74 PBq. Une nouvelle contamination par des résidus radioactifs liés à l'exploitation du complexe Mayak s'est produite en 1967, lorsque le niveau de l'eau du lac Karachai, qui avait été utilisé pour l'élimination des déchets, a baissé, le vent entraînant une resuspension des sédiments contaminés de la côte.

■ Le complexe de production de matières nucléaires de **Krasnoïarsk** est situé à environ 40 kilomètres de la ville de Krasnoïarsk. Le premier réacteur de Krasnoïarsk (à cycle direct) a été commandé en 1958, le deuxième en 1961 et le troisième (en circuit fermé) en 1964. Une usine radiochimique de retraitement du combustible irradié a été mise en exploitation en 1964. Les rejets de déchets radioactifs provenant du complexe de Krasnoïarsk se jettent dans le fleuve Ienisseï. Une contamination par les éléments traces peut être observée depuis Krasnoïarsk jusqu'à l'estuaire du fleuve quelque 2000 kilomètres en aval. En 1992, deux des trois réacteurs du complexe de Krasnoïarsk ont été mis hors service. Cette mesure a considérablement réduit les quantités de rejets radioactifs déversés dans l'Ienisseï.

■ Le complexe de **Tomsk** est situé sur la rive droite de la rivière Tom à 15 kilomètres au nord de la ville de Tomsk. Il a été commandé en 1953 et est le plus grand complexe destiné à la production de plutonium, d'uranium et d'éléments transuraniens de la Fédération de Russie. Le complexe de Tomsk comprend des réacteurs de production d'uranium-graphite, des installations d'enrichissement et de fabrication de combustible, et une usine de retraitement. Les radionucléides présents dans les déchets liquides pénètrent dans la rivière Tom, qui se jette dans le fleuve Ob. Entre 1990 et 1992, trois des réacteurs du complexe de Tomsk ont été mis hors service, ce qui a considérablement réduit les quantités de rejets radioactifs déversés dans la rivière Tom.

Le 6 avril 1993, un accident s'est produit à l'usine radiochimique, entraînant la libération de matières radioactives. Les conséquences radiologiques de l'accident ont été évaluées par l'AIEA. Une fine trace de faible contamination radioactive de 35 à 45 kilomètres de long s'est formée vers le nord-est. Le village de Georgievka est le seul endroit habité de la région.

ainsi le rôle joué par l'Agence: si la responsabilité de la sûreté incombe en premier lieu aux gouvernements nationaux, l'AIEA joue un rôle fondamental sous la forme de trois activités complémentaires: "élaboration d'accords internationaux juridiquement contraignants et suivi de leur application; établissement d'un ensemble complet de normes de sûreté non contraignantes; et offre d'une aide à l'application de ces normes".

Le rôle de l'AIEA, en matière d'évaluation radiologique, a ajouté le Dr ElBaradei, "consiste à être objective et scientifiquement crédible", en soulignant que l'Agence demeure disposée à

répondre à toute nouvelle demande dans ce domaine.

Épilogue: vers la fin de 1998, le Gouvernement algérien a soumis à l'AIEA une demande de projet de coopération technique ayant pour objet de "quantifier la contamination radioactive causée par des explosions nucléaires [en Algérie], d'évaluer l'impact radiologique sur la population locale et d'établir un plan de surveillance des anciens sites d'essais nucléaires". Cette demande a été présentée au Conseil des gouverneurs de l'AIEA en décembre 1998 et accueillie favorablement.

Dans le même temps, la communauté internationale commence à tirer de plus amples

enseignements d'un autre héritage radiologique potentiel de la guerre froide: les puissantes sources de rayonnements utilisées autrefois à des fins militaires et qui, aujourd'hui, ne font l'objet d'aucune réglementation ou sont abandonnées. Récemment, la République de Géorgie, confrontée à une situation d'urgence radiologique, a sollicité l'aide de l'AIEA. Deux puissantes sources de rayonnements ont été trouvées, l'une abandonnée le long d'une rivière, l'autre, sans aucune protection, dans la campagne à proximité d'une ville frontalière.

L'an dernier, les autorités géorgiennes ont signalé avoir trouvé plus de cinquante sources de rayonnements abandonnées, probablement d'origine militaire. □

RETOUR À SEMIPALATINSK

ÉVALUATION RADIOLOGIQUE DE L'ANCIEN SITE D'ESSAIS NUCLÉAIRES

PETER STEGNAR ET TONY WRIXON

Différents endroits, de par le monde, sont pollués par des matières radioactives résiduelles. Certaines de ces matières sont le résultat d'activités pacifiques passées, tandis que d'autres proviennent de programmes militaires, y compris d'essais d'armes nucléaires.

Dans les années 90, on a noté une intensification de la coopération internationale pour ce qui est d'évaluer les effets radiologiques des activités nucléaires militaires passées. Dans de nombreux pays, l'attention s'est portée sur l'évaluation et, si nécessaire, la remise en état des zones contaminées par des matières radioactives résiduelles provenant d'activités militaires. L'AIEA a pris la tête de ces activités d'évaluation d'anciens sites d'essais nucléaires. Le présent article rend compte des évaluations radiologiques préliminaires effectuées sur le site de Semipalatinsk, au Kazakhstan, où l'ancienne Union soviétique a effectué en quarante ans plus de 400 essais nucléaires.

LE SITE

La République du Kazakhstan est située immédiatement au sud de la

Photo: le lac Tel'kem-2, au Kazakhstan, s'est formé dans un cratère produit par un essai nucléaire. Ce test avait consisté en l'explosion de trois engins nucléaires équivalant chacun à 240 tonnes de TNT (Photo: Mission AIEA/juillet 1994)



Russie et à l'ouest de la Chine. Après la deuxième guerre mondiale, les steppes du Kazakhstan sont devenues le premier centre d'essais d'armes nucléaires de l'Union soviétique. Le site d'essais de Semipalatinsk couvre une superficie de 19000 km² au nord-est du pays, à 800 km au nord de la capitale, Almaty. La zone se situe au sud-ouest de la rivière Irtych, qui traverse le Kazakhstan en aval de la Chine et qui, sur une courte distance, délimite en partie le site d'essais nucléaires.

Entre 1949 et 1989, l'ancienne Union soviétique a effectué quelque 460 essais d'armes nucléaires sur ce site. Il s'est agi d'explosions déclenchées en surface ou dans l'atmosphère. Cinq de ces essais de surface ont été des échecs et ont entraîné la dispersion de plutonium dans l'environnement. À partir de

1961, plus de 300 explosions expérimentales ont été effectuées en sous-sol. Treize des essais souterrains ont entraîné la libération de gaz radioactifs dans l'atmosphère (voir tableau page 14).

Pendant le programme d'essais, les seuls résidents locaux habitaient la ville de Kourchatov, dont l'objet est de desservir le site, et les petites localités d'Akzhar et de Moldari, situées au nord du site. Récemment, on a observé dans cette zone le retour d'un nombre limité d'habitants, essentiellement des agriculteurs et des bergers semi-nomades. Le gros de la population locale réside

M. Stegnar travaille à la Section de la sûreté des déchets et M. Wrixon est chef de la Section de la radioprotection au sein de la Division de la sûreté des déchets et de la radioprotection.

à proximité du site. On estime à 30000 ou 40000 le nombre d'habitants de la région.

MISSIONS DE L'AIEA

En mai 1993, des représentants du Gouvernement kazakh ont informé l'AIEA de leurs préoccupations quant à la situation radiologique prévalant à Semipalatinsk et dans l'ouest du pays. Plus tard, le Gouvernement kazakh a demandé à l'AIEA de lui apporter une assistance concernant les anciens sites d'essais de Semipalatinsk et du Kazakhstan occidental. L'AIEA a accepté d'organiser une étude de la situation radiologique de ces régions. Cette décision a été suivie d'une série d'activités visant à caractériser et à évaluer la situation radiologique du site d'essais de Semipalatinsk.

Novembre 1993. La première mission de l'AIEA a eu lieu en novembre 1993. Cette mission avait pour but de prendre connaissance du site d'essais et de donner des orientations quant aux futures mesures à prendre. L'équipe était également chargée d'aider à renforcer l'infrastructure nationale en matière de radioprotection en plaçant l'accent sur la surveillance de l'environnement.

L'équipe s'est rendue sur le site de Semipalatinsk et a recensé les zones les plus probables de contamination radioactive tant sur le site qu'en dehors. Elle a également effectué des mesures limitées de rayonnements et prélevé des échantillons aux endroits recensés afin d'aider à mieux cerner les problèmes et de fournir des informations quant aux mesures à prendre. L'équipe a également visité des laboratoires gouvernementaux afin de déterminer leur aptitude à travailler en coopération et de localiser les données d'évaluation radiologique existantes.



Une fois obtenus les résultats de cette première mission, les fonctionnaires de l'AIEA ont rencontré, en mars 1994, au Siège de l'Agence (Vienne), une délégation du Kazakhstan. Lors de cette réunion, il a été question de Semipalatinsk. Pour donner suite aux préoccupations exprimées, l'AIEA a décidé d'instituer, par l'intermédiaire de son programme de coopération technique, un projet visant à aider la République du Kazakhstan à effectuer une évaluation radiologique du site d'essais de Semipalatinsk.

Juillet 1994. Une deuxième mission de l'AIEA sur le site d'essais a été effectuée en juillet 1994. Celle-ci avait pour objet de recueillir des données radiologiques supplémentaires concernant le site et ses environs, de rassembler et d'examiner les données fournies par les autorités russes et kazakhes concernant la situation radiologique du site d'essais, et d'effectuer une évaluation préliminaire des doses reçues alors et susceptibles d'être reçues à l'avenir par les habitants de la région de Semipalatinsk.

Le but était de déterminer si une évaluation radiologique plus poussée se justifiait. Des échantillons du sol, de légumes et de lait ont été prélevés et analysés

par spectrométrie gamma et analyse radiochimique pour déterminer les concentrations de radionucléides. Des experts ont eu des conversations avec les habitants des fermes et des villages environnants afin d'obtenir, sur l'alimentation et les coutumes locales, des informations susceptibles de les aider à évaluer les doses reçues.

Juin 1998. Une troisième mission a été effectuée en 1998 en application d'une résolution (52/169M) de l'Assemblée générale des Nations Unies. Lors de cette mission, une équipe d'experts a examiné de façon intensive les conséquences et besoins découlant de deux générations d'essais nucléaires effectués sur le territoire de ce qui est devenu, en 1991, la République du Kazakhstan. Cette mission réunissait des spécialistes d'organismes et d'institutions du système des Nations Unies dont l'AIEA, le Gouvernement kazakh et des experts techniques originaires de plusieurs pays. La mission, qui s'est déroulée du 15

Photo: des spécialistes effectuent des mesures de spectrométrie gamma sur le site de Semipalatinsk lors de la mission effectuée par l'AIEA en juillet 1994

(Photo: Mission AIEA/juillet 1994)

au 30 juin 1998, a évalué, conformément à la résolution des Nations Unies, les besoins humanitaires découlant de la situation prévalant sur le site d'essais de Semipalatinsk.

RÉSULTATS DES MISSIONS

D'après les informations rassemblées au cours des missions et des recherches ultérieures, il existe suffisamment d'éléments indiquant que la majeure partie de la région présente peu, voire aucune radioactivité résiduelle directement imputable aux essais nucléaires effectués au Kazakhstan. À l'endroit où les essais de surface ont été effectués et où quelques essais souterrains ont entraîné des rejets dans l'atmosphère, quelques zones présentent des niveaux élevés de radioactivité résiduelle. L'étude préliminaire de ces endroits a montré que la contamination est relativement localisée.

En raison du volume limité de données d'enquêtes rassemblées lors des missions, il n'a pas été possible de corroborer l'existence de résidus d'actinides provenant des essais nucléaires non réussis. Pour pouvoir envisager de poursuivre les recherches, il faudrait disposer d'une description de la nature de ces essais et des conditions qui prévalaient alors ainsi que de données supplémentaires.

Actuellement, l'accès au site d'essais nucléaires est libre et un nombre limité de personnes a commencé à s'y réinstaller. On a entrepris d'évaluer l'exposition des personnes qui, quotidiennement, se rendent sur les zones où les essais de surface et des explosions souterraines ventilées ont eu lieu.

Les premiers résultats de l'évaluation font ressortir, dans la région, des expositions annuelles de 10 mSv essentiellement dues à l'exposition extérieure. Si ces

ESSAIS NUCLÉAIRES À SEMIPALATINSK

Durée des essais	Géologie de la zone d'essais	Nombre d'essais
1949-62	Grès	Surface: 26 Air: 87
1961-89	Granit, quartz-porphyre, massif montagneux de syénite	Galleries: 215
1965-80	Alévolite, porphyre, grès	Puits: 24
1968	Argyllite	Puits: 2
1965-89	Alévolite, grès, conglomérat	Puits: 107

zones étaient habitées en permanence à l'avenir, on estime que les expositions pourraient atteindre 140 mSv par an. Ce niveau d'exposition annuelle est supérieur au niveau d'intervention. Il est donc jugé nécessaire de prendre des mesures correctives dans ces zones localisées de radioactivité élevée. Cependant, vu les contraintes budgétaires et autres, la mesure corrective la plus appropriée, à l'heure actuelle, pourrait être de restreindre l'accès à ces sites.

Les mesures effectuées par les experts de l'AIEA corroborent, dans une mesure raisonnable, les études plus poussées effectuées par différentes organisations du Kazakhstan et de l'ancienne Union soviétique. Les résultats combinés sont jugés suffisants pour former la base d'une évaluation préliminaire de la situation radiologique de la région entourant le site d'essais de Semipalatinsk.

La seule exception à la conclusion ci-dessus a trait à l'eau d'alimentation. Si les échantillons d'eau d'alimentation prélevés pendant les missions n'ont indiqué aucun niveau élevé de radionucléides

artificiels, l'échantillonnage n'était pas complet. En l'état des choses, il est difficile de tirer des conclusions générales concernant l'ensemble du système d'approvisionnement en eau. En outre, les résultats ne fournissent aucune garantie quant à la sûreté future de l'approvisionnement.

Débits de dose extérieurs. Les débits de dose extérieurs et l'activité du sol en dehors du site d'essais sont identiques ou analogues aux niveaux généralement relevés dans d'autres régions ou pays où aucun essai d'armes nucléaires n'avait été effectué. Certaines zones font apparaître de légères augmentations, mais celles-ci n'ont aucune incidence sur l'exposition de la population locale.

Un village présentait un niveau de dépôt de plutonium plus élevé que les autres localités. On y a procédé à un échantillonnage plus complet du sol. Les doses annuelles estimatives, cependant, demeurent faibles. On estime qu'une intervention visant à réduire l'exposition de la population aux rayonnements en dehors du site de Semipalatinsk ne se justifie pas. □

ETUDE DE L'ATOLL DE BIKINI

PETER STEGNAR

Pendant l'élaboration de la bombe atomique, des essais ont été effectués dans des pays qui n'ont ni l'infrastructure, ni les compétences requises pour évaluer les risques de rayonnements associés. Ces pays doivent faire appel à l'extérieur pour obtenir des avis indépendants concernant la situation radiologique créée par les matières radioactives résiduelles provenant des essais nucléaires.

L'AIEA a été priée par plusieurs de ses États membres d'apporter une aide dans ce domaine. Parmi les anciens sites d'essais nucléaires que l'AIEA a examinés figure l'atoll de Bikini (Îles Marshall).

GÉNÉRALITÉS ET HISTORIQUE

L'atoll de Bikini est situé à 850 kilomètres au nord-ouest de Majuro, à l'extrémité nord des Îles Marshall, et se compose de plus de 23 îles et îlots. Quatre îles (Bikini, Eneu, Nam et Enidrik) représentent plus de 70% de la surface terrestre. Bikini et Eneu sont les seules îles de l'atoll ayant abrité une population permanente.

En 1946, l'atoll de Bikini a été le premier site des Îles Marshall à être utilisé par les États-Unis pour des essais d'armes nucléaires. En 1948, l'atoll d'Enewetak, un atoll voisin, a succédé à l'atoll de Bikini comme site d'essais. En

1954, l'atoll de Bikini a été réactivé comme site d'essais jusqu'à ce que les États-Unis interrompent leurs essais nucléaires sur les Îles Marshall en 1958.

Avant le premier essai nucléaire effectué en 1946, les 167 Bikiéniens vivant sur l'île de Bikini furent évacués vers l'atoll de Rongerik, qui est situé à environ 200 kilomètres à l'est, apparemment pour y résider jusqu'à une date non spécifiée à laquelle les essais seraient terminés. Les Bikiéniens sont restés sur l'atoll de Rongerik deux ans. En 1948, ils furent brièvement transférés vers l'atoll de Kwajalein puis, la même année, sur Kili, un petit récif.

Des problèmes se sont cependant posés. Il s'agissait notamment du fait que Kili n'a pas de lagon, n'a aucun récif protecteur et est dépourvu de toute zone de pêche. La petite plage est souvent recouverte par des vagues déferlantes. Les Bikiéniens considéraient le déplacement vers Kili comme une mesure temporaire et n'avaient pas l'intention de renoncer à la pêche pour devenir cultivateurs.

Lorsque les essais d'armes nucléaires sur les Îles Marshall se terminèrent en juillet 1958, seize essais avaient été effectués, en 12 ans, sur l'atoll de Bikini. Tous ces essais avaient été effectués en surface ou dans l'atmosphère, à l'intérieur ou au dessus du lagon de l'atoll,

dispersant les produits de l'explosion sur toutes les îles de l'atoll.

Il est très important, si l'on veut comprendre les problèmes généraux qui se posent, de connaître l'historique des évaluations radiologiques et des mouvements de la population locale. En août 1968 — suite à plusieurs études radiologiques qui avaient été effectuées depuis 1958 pour évaluer l'impact du programme d'essais d'armes nucléaires américain —, il a été annoncé que l'atoll de Bikini pouvait être habité en toute sûreté et que le retour des habitants était autorisé. L'atoll a été débarrassé des débris et des arbres fruitiers ont été replantés. Une nouvelle étude radiologique de l'atoll a été effectuée en 1970.

Enfin, 139 Bikiéniens se sont réinstallés sur l'atoll. Cependant, les habitants n'étaient toujours pas convaincus de la sûreté de l'atoll et, en 1975, ils ont intenté un procès au Gouvernement américain pour faire cesser tout retour sur l'atoll tant qu'une étude satisfaisante et complète ne serait pas menée.

Des données radiologiques supplémentaires ont été rassemblées en vue de leur évaluation en 1975, 1976, et 1978. En septembre 1978, il fut

M. Stegnar travaille à la Division de la radioprotection et de la sûreté des déchets de l'AIEA.

décidé de transférer les 139 Bikinien(ne)s qui étaient retournés sur Bikini de nouveau sur l'île de Kili, sur l'île d'Ejit (atoll de Majuro).

Après cette deuxième évacuation, une nouvelle étude radiologique, parrainée par les États-Unis, a été effectuée. On a alors utilisé des détecteurs placés sur des hélicoptères pour tracer les contours des débits de dose gamma extérieurs. Par ailleurs, des échantillons de végétation, d'aliments marins, d'animaux et de sol ont été prélevés et analysés. Les évaluations révisées de débit de dose ont été publiées en 1980 et 1982. Il en ressortait que si les Bikinien(ne)s décidaient de réintégrer leur île, la chaîne alimentaire terrestre serait leur principale voie d'exposition. Cette évaluation de dose a été actualisée une nouvelle fois en 1995 dans le cadre d'un programme continu de mesures mis en œuvre sur l'atoll.

Suite à l'étude américaine, le Gouvernement de la République des Îles Marshall a commandé une évaluation radiologique distincte, de façon que les résidus radioactifs soient contrôlés sur l'atoll de Bikini et sur tous les autres atolls du pays. L'évaluation a été placée sous la surveillance d'un groupe consultatif scientifique composé d'experts réputés et respectés. Des programmes de contrôle de la qualité des laboratoires ont été institués pour veiller à ce que les études produisent des données exactes et reproductibles. Globalement, l'évaluation a confirmé les résultats des programmes de mesures antérieurs. Les résultats de l'évaluation ont été publiés et un rapport sur l'atoll de Bikini a été produit en février 1995.

En août 1995, six mois après la publication du rapport, le Nitejela (Parlement) des Îles

Marshall a examiné les résultats de l'évaluation, mais ne les a pas acceptés.

DEMANDE D'ÉTUDE INTERNATIONALE

En 1994, le Gouvernement des Îles Marshall a prié l'AIEA, d'une part, de mener une étude internationale indépendante sur la situation radiologique de l'atoll de Bikini et, d'autre part, d'envisager et de recommander des stratégies de repeuplement de l'atoll. L'AIEA a donné suite à cette demande en formant, dans le cadre d'un de ses projets de coopération technique, un groupe consultatif qui s'est réuni en décembre 1995.

L'étude internationale s'est fixé trois principaux objectifs:

- évaluer la situation radiologique de Bikini en tenant compte des informations présentées par le gouvernement des Îles Marshall;
- vérifier s'il était nécessaire de corroborer les informations disponibles sur la situation radiologique de l'atoll;
- déterminer si des mesures correctives de radioprotection étaient nécessaires et, dans l'affirmative, définir la forme, l'ampleur et la durée d'une telle intervention.

L'étude internationale a tenu compte de toutes les données provenant de l'évaluation des Îles Marshall ainsi que d'un grand nombre d'autres évaluations effectuées par des scientifiques du monde entier.

ÉTUDE DE L'ATOLL DE BIKINI PAR L'AIEA

En mai 1997, l'AIEA a dépêché sur l'atoll de Bikini une équipe de surveillance de l'environnement chargée de mettre en œuvre un programme limité de mesures et de prélèvements. Cette équipe a mesuré, dans l'air, le débit de

dose absorbé et, dans des échantillons représentatifs de sol et d'aliments, la concentration des radionucléides les plus significatifs sur le plan radiologique.

Le but visé était de valider les données rassemblées auparavant. Les mesures effectuées ont donné des résultats correspondant généralement aux valeurs signalées précédemment.

CONCLUSIONS

Compte tenu de ses résultats, le groupe consultatif de l'AIEA a estimé qu'il n'était pas nécessaire de corroborer davantage les mesures et les évaluations de la situation radiologique de l'atoll de Bikini. Les données obtenues étaient de qualité suffisante pour permettre une évaluation satisfaisante de la situation. La surveillance limitée de la région effectuée par l'AIEA a permis de contrôler la qualité des données rassemblées précédemment.

Il a été recommandé de ne pas repeupler l'île de Bikini de façon permanente dans les conditions radiologiques prévalant alors. Cette recommandation s'est appuyée sur l'hypothèse selon laquelle les personnes qui retourneraient sur l'île consommeraient uniquement des aliments produits localement. Les données radiologiques donnaient à penser que si l'on autorisait un tel mode d'alimentation, ce dernier pourrait se solder par une dose effective annuelle d'environ 15 mSv. Il a été estimé que ce niveau nécessitait de prendre des mesures de radioprotection.

Plusieurs mesures correctives pourraient permettre de réhabiliter l'île de façon permanente. On pourrait



notamment appliquer périodiquement des engrais à base de potassium sur les cultures comestibles ou éliminer la terre végétale de l'île. On estime généralement que la démarche la plus raisonnable consisterait à utiliser des engrais à base de potassium. La radioactivité des plantes étant principalement due à l'absorption de césium radioactif, le potassium

remplacerait cet élément, réduisant ainsi l'exposition globale de la population. Le raclage et l'élimination de la terre végétale nuiraient gravement à l'environnement de

l'île et auraient des conséquences sociales.

Il a été recommandé, dans l'éventualité où il serait décidé de réhabiliter l'île de Bikini au moyen d'engrais, de ne poursuivre qu'un simple programme de surveillance des aliments et de la population. Ce programme aurait pour but de fournir aux Bikinien l'assurance que leur organisme n'absorbe pas de quantités importantes de matières radioactives.

Ce projet illustre le type d'étude que l'AIEA a été priée d'effectuer pour évaluer une situation radiologique découlant de la présence de résidus radioactifs. L'Agence a proposé ce service à un État membre qui s'inquiétait légitimement de cette situation. Parallèlement à cette offre de service, l'Agence a conseillé les autorités nationales sur les mesures pouvant être prises pour repeupler des régions où l'on éprouve des inquiétudes liées à l'environnement.

En 1998, l'AIEA a publié un rapport sur la situation radiologique de l'atoll de Bikini et sur les perspectives de retour de la population, rapport qui aborde dans le détail l'étude internationale réalisée (voir, dans le présent numéro, la rubrique consacrée aux publications de l'AIEA). Par ailleurs, en juillet 1997, le journal officiel de la *Health Physics Society*, intitulé *Health Physics*, a consacré une édition spéciale à ce sujet, y compris des articles ayant directement trait au repeuplement de l'atoll de Bikini. □

Photos: dans le cadre de l'étude internationale menée sur l'atoll de Bikini, des équipes d'experts ont rassemblé et analysé des échantillons provenant de plusieurs sites. On voit ici la préparation de noix de coco préalable à des mesures de radioactivité et un prélèvement de section de sol sur l'île de Bikini. (Photo: G. Winkler/AIEA)

PROJET INTERNATIONAL D'ÉVALUATION DES MERS ARCTIQUES: RÉCAPITULATIF SOUS LA SURFACE DES MERS ARCTIQUES

KIRSTI-LIISA SJÖBLOM ET GORDON LINSLEY

Des rumeurs ont vu le jour, en 1992, selon lesquelles l'ancienne Union soviétique avait, pendant plus de trois décennies, immergé des déchets radioactifs dans les eaux peu profondes des mers arctiques. Cette nouvelle a suscité de vives inquiétudes dans de nombreux pays, en particulier ceux ayant un littoral arctique.

Au début de 1993, la Présidence de la Fédération de Russie a publié un document contenant des informations détaillées sur les opérations d'immersion réalisées par le passé par l'ancienne Union soviétique. D'après ce document, appelé "Livre blanc", les dispositifs immergés dans les mers arctiques comprenaient six réacteurs de sous-marins nucléaires contenant du combustible usé; un ensemble de blindage provenant d'un réacteur de brise-glaces contenant du combustible usé; dix réacteurs nucléaires vides; et des déchets solides et liquides faiblement radioactifs.

Les déchets solides ont été immergés dans la mer de Kara, principalement dans les fjords peu profonds de Nouvelle Zemble, où les profondeurs des sites d'immersion varient de 12 à 135 mètres et dans la fosse de Nouvelle Zemble à des profondeurs pouvant atteindre 380 mètres. Les déchets liquides faiblement radioactifs ont été rejetés au large des mers de Barents et de Kara.

En 1993, l'AIEA a donné suite aux inquiétudes de ses États membres et à la demande des Parties contractantes à la Convention sur la prévention de la

pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et autres matières en lançant le Projet international d'évaluation des mers arctiques. Ce projet avait deux objectifs:

- évaluer les risques pour la santé humaine et pour l'environnement liés aux déchets radioactifs immergés dans les mers de Kara et de Barents, et
- étudier d'éventuelles mesures correctives concernant les déchets immergés et émettre des avis quant à la nécessité et à la justification de telles mesures.

Le Projet, qui a associé plus de cinquante experts provenant de quatorze pays, a été dirigé par un Groupe consultatif international. Ses tâches étaient les suivantes:

- examen de la situation radiologique des eaux arctiques;
- prévision des futures émanations potentielles provenant des déchets immergés;
- modélisation du transport dans l'environnement des nucléides libérés et évaluation de l'impact radiologique connexe sur les humains et sur le biote; et
- étude de la faisabilité, des coûts et des avantages d'éventuelles mesures correctives.

SITUATION RADIOLOGIQUE

Dans le cadre du Projet, on s'est appuyé sur des informations relatives à l'exploitation des réacteurs et sur le calcul des spectres neutroniques pour évaluer les produits de fission, les produits d'activation et les inventaires d'actinides des réacteurs immergés et des ensembles contenant du combustible. Il a été conclu que

l'inventaire total de radionucléides des déchets fortement radioactifs au moment de l'immersion était de 37 PBq. L'inventaire correspondant des déchets fortement radioactifs était estimé, en 1994, à 4,7 PBq. En 1994, les principaux radionucléides étaient le césium-137, le strontium-90, le nickel-63 et le cobalt-60. Dans un avenir lointain, en l'an 3000, les isotopes de plutonium et de nickel-59 domineront l'inventaire.

Radionucléides présents dans l'environnement. Le large de la mer de Kara est relativement exempt de contamination par rapport à certaines autres zones maritimes. Les principaux contributeurs à sa teneur en radionucléides artificiels sont le dépôt atmosphérique direct et les écoulements des retombées mondiales provenant des essais d'armes nucléaires, les rejets effectués par les usines de retraitement d'Europe occidentale et les retombées de l'accident de Tchernobyl.

Les mesures effectuées sur la matière présente dans l'environnement suggèrent que les doses individuelles annuelles actuelles émises par les radionucléides artificiels dans les

Mme Sjöblom travaille à la Section de sûreté des déchets de la Division de la radioprotection et de la sûreté des déchets. M. Linsley est le chef de cette Section. Pour de plus amples renseignements sur le Projet international d'évaluation des mers arctiques et sur ses résultats, voir les articles parus dans le Bulletin de l'AIEA (Vol.37, n° 2, 1995 et Vol. 39, n° 2, 1997).

mers de Kara et de Barents sont très faibles, de l'ordre de 2 à 10 microSv. Des concentrations élevées de certains radionucléides ont été détectées dans des sédiments à quelques mètres des conteneurs de déchets faiblement radioactifs, ce qui donne à penser que les conteneurs ont fui. Ces fuites, cependant, n'ont pas entraîné d'augmentation mesurable des radionucléides à l'extérieur des fjords ou au large de la mer de Kara.

EFFETS POTENTIELS FUTURS

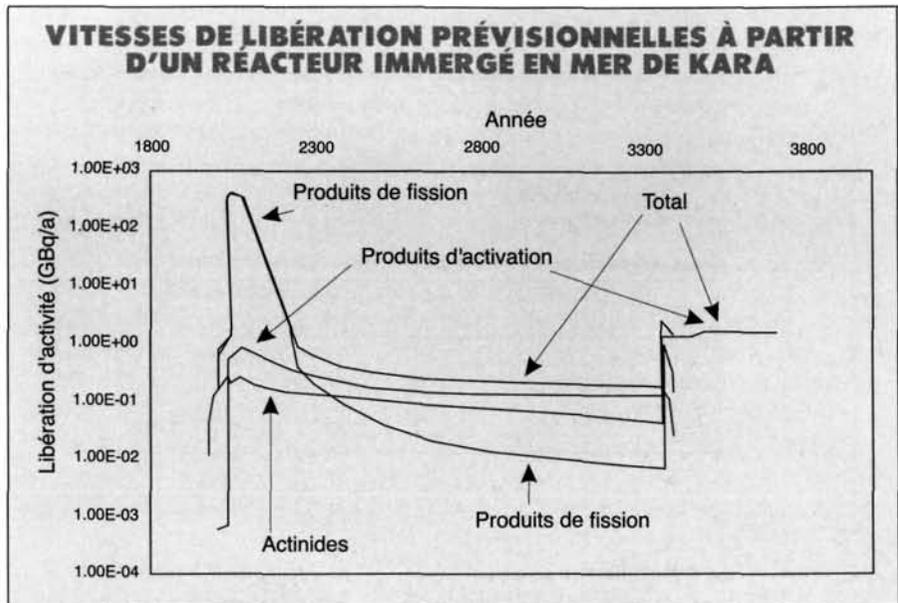
La vitesse de libération des radionucléides dans l'environnement dépendra de l'intégrité des matériaux formant la structure des réacteurs, des barrières ajoutées avant l'immersion et du combustible nucléaire proprement dit.

Pour chacun des déchets immergés fortement radioactifs, on a étudié en détail la construction et la composition des barrières et l'on s'est servi des meilleurs estimations de vitesse de corrosion et de durée de vie des barrières pour calculer les vitesses de libération. Des événements extérieurs, tels que des collisions avec des navires ou, de manière plus générale, un refroidissement global suivi d'une érosion des fjords par les glaciers, risquaient également d'endommager les enceintes de confinement.

Ont été étudiés les scénarios de libération de radionucléides suivants :

- un scénario estimatif optimal dans lequel la libération résulte de la corrosion des barrières, des conteneurs de déchets et du combustible proprement dit;
- deux scénarios catastrophiques causant, à certains moments, une libération instantanée ou accélérée de l'inventaire restant de radionucléides;

Les vitesses de libération ont été calculées dans l'hypothèse du



scénario estimatif optimal à partir de l'un des réacteurs immergés (voir graphique). Ces vitesses ont été utilisées avec des modèles mathématiques de comportement des radionucléides dans l'environnement pour estimer les doses de rayonnement reçues par les humains et par le biote.

Estimation des doses. On a estimé les doses reçues par certains groupes de population, par la population mondiale, et par la flore et la faune.

Doses individuelles. Pour estimer les doses individuelles, on a étudié trois groupes de population. Les doses individuelles ont été calculées sur des périodes de temps englobant les débits de dose individuels les plus élevés pour chacun des trois scénarios.

- Groupe 1: groupe dont la subsistance dépend fortement de la consommation de poisson de la mer de Kara, mammifères marins, oiseaux marins et leurs œufs, et qui passent 250 heures par an sur le littoral;

- Groupe 2: groupe hypothétique de militaires patrouillant l'avant-plage des fjords pendant des périodes présumées de 100 heures par an. Les voies d'exposition étudiées

sont notamment les rayonnements externes et l'inhalation de brume marine et de sédiments remis en suspension;

- Groupe 3: groupe de consommateurs d'aliments marins jugés représentatifs de la population du nord de la Russie consommant du poisson, des mollusques et des crustacés provenant de la mer de Barents.

Les doses individuelles annuelles maximales reçues par les deux groupes de consommateurs d'aliments marins (groupes 1 et 3) dans les trois scénarios sont faibles (moins d'1 microSv) et nettement inférieures aux diverses doses de fond naturelles (les doses annuelles reçues par les groupes 1 et 3 du fait du polonium-210 naturel présent dans les aliments marins sont respectivement de 500 microSv et 100 microSv). Les doses reçues par le groupe critique hypothétique de militaires patrouillant les fjords (groupe 2) sont plus élevées mais n'en restent pas moins comparables aux doses de fond naturelles (en moyenne 2400 microSv) (voir tableau page suivante).

Doses collectives. Les doses collectives n'ont été estimées que pour le scénario estimatif optimal.

DOSES INDIVIDUELLES ANNUELLES

Doses totales maximales reçues par certains groupes de population (microSv/an)

Scénario	Doses annuelles consommateurs aliments marins	Doses annuelles personnel militaire
Scénario estimatif optimal	< 0,1	700
Scénarios catastrophiques	0,3- 1	3000-4000

Doses collectives reçues par la population mondiale (homme.Sv)

	Date de calcul (butée)	
	2050	3000
Nucléides sauf		
Carbone-14 et Iode-129	0,01	1
Carbone-14	S/O	8
Iode-129	S/O	0,0001
Total		~10

La dose collective reçue par la population mondiale du fait de la dispersion des radionucléides dans les océans (nucléides autres que le carbone-14 et l'iode-129) a été calculée jusqu'en 2050 pour fournir des informations sur la dose collective reçue par la génération actuelle, et sur les 1000 prochaines années, période de temps qui englobe les rejets estimatifs les plus élevés. Les doses collectives ont été estimées à 0,01 homme.Sv et 1 homme.Sv respectivement.

En supposant que l'intégralité de l'inventaire de carbone-14 des déchets soit libérée vers l'an 2000 et en intégrant la dose reçue par la population mondiale sur les 1000 prochaines années (c'est-à-dire jusqu'en l'an 3000), on obtient une dose collective d'environ 8 homme.Sv. La valeur correspondante pour l'iode-129 est nettement plus faible à 0,0001 homme.Sv. Ainsi, la dose collective totale reçue par la population mondiale sur les 1000 prochaines années serait de l'ordre de 10 homme.Sv (voir tableau).

Doses reçues par la flore et par la faune. Les débits de dose reçus par diverses populations d'organismes sauvages, du zooplancton aux baleines, se sont révélés très faibles. Les débits de dose les plus élevés prédits par l'évaluation sont

de l'ordre de 0,1 microGy/h — débit de dose dont on juge qu'il est improbable qu'il ait sur la morbidité, la mortalité, la fertilité, la fécondité et le taux de mutation un effet néfaste susceptible de compromettre le maintien de populations en bonne santé.

Il convient également de noter que seule une faible proportion du biote local risque d'être affectée par ces rejets.

ÉTUDE DE MESURES CORRECTIVES

S'agissant d'éventuelles mesures correctives, une étude préliminaire de faisabilité et de coûts a été réalisée pour le conteneur de combustible usé provenant du brise-glaces nucléaire. Le brise-glaces est, parmi les déchets immergés, celui qui recèle l'inventaire le plus important de radionucléides et celui dont on connaît le mieux la construction et les barrières.

Les spécialistes de la récupération ont choisi d'étudier de façon plus approfondie deux solutions potentiellement réalistes. La première consistait, sur place, à recouvrir le conteneur de béton ou de tout autre matériau approprié afin de l'enrober. La seconde consistait à le rapporter sur terre. Les deux solutions ont été jugées

techniquement réalisables, pour un coût estimatif compris entre 5 et 13 millions de dollars.

Plusieurs facteurs doivent être pris en considération avant de prendre une décision concernant la nécessité de mesures correctives. Du point de vue de la radioprotection, il s'agit de tenir compte des doses et risques encourus par les individus les plus exposés (groupe critique) si aucune mesure n'est prise, et de la mesure dans laquelle il est possible d'améliorer leur situation en prenant des mesures. Un autre facteur a trait à l'impact global sur la santé des populations exposées (proportionnel à la dose collective) et à la mesure dans laquelle on peut l'éviter en prenant des mesures correctives.

CONCLUSIONS DU PROJET

Les experts sont parvenus à plusieurs conclusions :

- La surveillance a montré que les rejets provenant des déchets immergés identifiés sont faibles et confinés à l'environnement immédiat des sites d'immersion;
- Les doses qui seraient reçues à l'avenir par les groupes représentatifs de la population locale du fait des déchets radioactifs immergés dans la mer de Kara sont très faibles (inférieures à 1 microSv par an). Les doses qui seraient reçues à l'avenir par un groupe hypothétique de militaires patrouillant l'avant-plage des fjords dans lesquels des déchets ont été immergés sont plus élevées (jusqu'à 4000 microSv par an), mais restent du même ordre que la dose de fond annuelle moyenne;
- Les doses reçues par la faune marine sont insignifiantes et inférieures aux doses susceptibles d'avoir un effet néfaste sur les populations marines;
- S'agissant d'éventuelles mesures correctives, la situation radiologique ne les justifie pas. □

ÉTUDE DE MURUROA

E. GAIL DE PLANQUE

Les résultats de l'une des plus vastes études internationales de l'environnement jamais réalisées — l'étude organisée ces trois dernières années par l'AIEA pour évaluer la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa dans l'océan Pacifique sud — sont désormais connus. Le Gouvernement français y avait effectué, de 1966 à 1996, des expériences nucléaires. J'ai eu la chance exceptionnelle de diriger ce projet mondial, assurant la présidence du Comité consultatif international (CCI) de l'étude.

Comme suite à la demande exprimée par le Gouvernement français — et une fois que ce pays eut décidé de mettre fin à tous ses essais sur les atolls — l'AIEA a lancé l'étude en avril 1996. Le Comité consultatif international a été institué par le Dr Hans Blix, ancien directeur général de l'AIEA, afin de superviser l'étude et j'ai été chargée de le présider.

Pour rappel, les atolls sont situés à l'extrémité orientale de la Polynésie française, à quelque 100 kilomètres de Tahiti, et sont à peu près équidistants de la côte occidentale des États-Unis et de l'Amérique latine et de la côte orientale de l'Australie. À Mururoa et à Fangataufa, la France a essentiellement réalisé deux types d'expérience: 178 essais d'armes nucléaires au

cours desquels on a fait exploser des engins nucléaires avec libération d'énergie de fission, et des essais de sûreté d'armes nucléaires faisant appel, d'une part, à des engins nucléaires soumis à des conditions simulées d'accident et, d'autre part, à des cœurs d'armes nucléaires détruits par des explosifs conventionnels libérant peu, voire aucune énergie de fission.

La plupart des essais ont été effectués à Mururoa, le plus grand des deux atolls, les autres, principalement les essais les plus importants, étant effectués à Fangataufa. Les essais d'armes et de sûreté nucléaires ont été effectués aussi bien dans l'atmosphère qu'en sous-sol. 41 essais ont été effectués dans l'atmosphère, 37 à Mururoa et 4 à Fangataufa, l'engin nucléaire étant dans la plupart des cas suspendu à un ballon à très haute altitude. 137 essais ont été effectués en sous-sol — 127 à Mururoa et dix à Fangataufa, la majorité d'entre eux faisant appel à des engins enterrés dans des puits creusés dans la roche située en dessous de la bordure ou du lagon des atolls. Au total, 15 essais de sûreté ont eu lieu — cinq dans l'atmosphère et dix en sous-sol.

L'incidence des essais d'armes nucléaires étant une question scientifiquement difficile et politiquement sensible, l'étude a dû surmonter plusieurs

problèmes énormes. Il s'agissait d'être indépendants, de disposer d'un grand nombre de scientifiques compétents dotés d'une vaste palette de connaissances et de qualifications, et de disposer de la structure et de l'efficacité organisationnelles nécessaires pour mener à bien cette tâche de façon complète et rapide. C'est pourquoi le CCI, qui assurait l'orientation politique et scientifique de l'étude, a été composé de quatorze membres de différents pays et de quatre représentants d'office de la Commission européenne, du Forum du Pacifique sud, du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) et de l'Organisation mondiale de la santé (*voir encadré page suivante*). Outre le personnel du CCI et de l'AIEA, 55 experts de 21 pays ont participé à l'étude. Les travaux ont dépassé de loin l'exercice théorique, une campagne de mesures et de prélèvements ayant également été organisée sur les atolls afin d'évaluer les matières

Le Dr de Planque, ancien membre de la Commission de réglementation nucléaire américaine et aujourd'hui consultant indépendant, a présidé le Comité consultatif international chargé de superviser l'étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

radioactives résiduelles présentes dans les milieux tant terrestre qu'aquatique. Au total, 18 laboratoires de 12 pays ont participé à la campagne, qui a été dirigée par les laboratoires de l'AIEA situés à Seibersdorf et Monaco.

L'étude avait pour mandat d'évaluer de façon prospective la situation des deux atolls et des zones concernées du point de vue de la sûreté radiologique, de vérifier s'il existe des risques radiologiques pour la population, et d'émettre des recommandations sur la forme, l'ampleur et la durée de toute mesure corrective, de surveillance ou de suivi qui pourrait se révéler nécessaire. Elle avait pour objectifs précis d'étudier les rayonnements résiduels détectés sur les atolls après la fin des essais nucléaires et d'étudier tant la situation radiologique actuelle que l'évolution probable de la situation radiologique à long terme.

Il importe de comprendre ces objectifs, car l'étude n'a pas été conçue pour étudier rétrospectivement les situations radiologiques passées, comme par exemple les expositions causées par les retombées pendant les essais — ce qui est fait de façon systématique par l'UNSCEAR — ou l'exposition professionnelle des ouvriers et des militaires pendant les essais (le CCI croit savoir que les autorités françaises publieront un rapport sur ce sujet).

Pour l'essentiel, l'étude est parvenue aux conclusions suivantes:

- Les rayonnements n'auront sur la santé aucun effet qui pourrait être médicalement diagnostiqué chez un individu ou détecté par l'épidémiologie dans un groupe d'individus et qui serait imputable aux doses de rayonnement estimatives qui

LE COMITÉ CONSULTATIF INTERNATIONAL

Président: Dr E. Gail de Planque (photo), ancien membre de la Commission de réglementation nucléaire américaine et actuellement consultant indépendant (États-Unis)

Membres des États membres de l'AIEA:

Argentine: D. J. Beninson, ancien président de la Commission internationale de radioprotection et, au moment de l'étude, Président de l'Agence argentine de réglementaire nucléaire (Buenos Aires)

Royaume-Uni: R. Clarke, National Radiological Protection Board et président actuel de la Commission internationale de radioprotection

Australie: H. Garnett, Australian Nuclear Science and Technology Organization

Suède: G.E.G. Holm, Département de physique des rayonnements, Hôpital universitaire de Lund

Indonésie: H.S. Karyono, Centre de mise en valeur des minéraux nucléaires, Agence nationale de l'énergie atomique

Allemagne: A. Kaul, Office fédéral de radioprotection

Fédération de



Russie: A. Matouschenko, Commission russe de radioprotection

Japon: T. Numakunai, Institut de mesure des rayonnements

Nouvelle-Zélande: A. Poletti, Département de physique, Université d'Auckland

Membres d'office:

Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants: B. Bennett (Vienne)

Commission européenne: G. Fraser, Direction générale XI/C/1 (Luxembourg)

Forum du Pacifique sud: V. A. Fuavao, Programme régional pour l'environnement du Pacifique sud, Apia (Samoa occidentale)

Organisation mondiale de la santé: W. Kreisel, Santé et environnement (Genève)

sont reçues ou qui seraient reçues à l'avenir par des individus du fait des matières radioactives résiduelles présentes à Mururoa et à Fangataufa;

- Globalement, les débits de dose escomptés et le mode d'exposition sont tels qu'aucun effet n'est à craindre sur le biote, même si, à l'occasion, certains individus risquent d'être atteints, sans toutefois que cela mette en

danger l'espèce entière ou crée des déséquilibres entre les espèces;

- Étant donné les niveaux d'activité mesurés et prévus des radionucléides et les faibles niveaux de dose estimés pour le présent et pour l'avenir, et compte tenu des recommandations internationales, aucune mesure corrective n'est nécessaire sur les

PUBLICATIONS & RAPPORTS

Les résultats de l'étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa sont disponibles sous la forme d'une collection complète de publications et de rapports. Les résultats détaillés sont présentés dans quatre publications distinctes: Rapport principal, Résumé, Compte rendu analytique et Rapport technique.

Le Rapport principal est la principale publication de l'étude. Il dresse un tableau scientifique complet, assorti des résultats, conclusions et recommandations de l'étude. Il est secondé par un Rapport technique détaillé en six volumes destiné aux spécialistes. Le résumé est tiré du document

original présenté au Conseil des gouverneurs de l'AIEA. Le Compte rendu analytique offre à un public plus large un vaste aperçu de l'étude et reprend ses résultats, conclusions et recommandations.

L'AIEA a également publié les actes de la Conférence internationale organisée à Vienne du 29 juin au 3 juillet 1998.

Les rapports peuvent être commandés auprès de la Division des publications de l'AIEA, Service des ventes et de la promotion. Se reporter, pour tout renseignement concernant les commandes, à la section du présent *Bulletin* consacrée aux publications de l'AIEA.

une conférence tenue à Vienne (30 juin au 3 juillet 1998) pour permettre à la communauté scientifique d'examiner ses travaux et conclusions.

Je m'estime privilégiée d'avoir pu travailler avec autant d'experts dévoués du monde entier et de l'AIEA. Le CCI et le groupe d'étude remercient Hans Blix, ancien directeur général de l'AIEA, et Mohamed ElBaradei, actuel directeur général, pour leurs encouragements, leur appui et la mise à disposition des ressources nécessaires à la mise en œuvre de l'étude, ainsi que les fonctionnaires de l'AIEA pour les efforts sans relâche qu'ils ont déployés.

La coopération sans réserve du Gouvernement français à cette entreprise a été remarquable et très appréciée. La France a mis à disposition d'énormes quantités de matériels, y compris tout le matériel demandé et jugé nécessaire à la conduite de l'étude. Son aide et son soutien logistique pendant la campagne de mesures et de prélèvements effectuée à Mururoa et à Fangataufa ont été précieux. Sans cette coopération, l'étude n'aurait pu être menée à bien.

Du point de vue scientifique, l'étude a été une merveilleuse expérience d'apprentissage pour tous les participants. J'espère qu'elle aura contribué à alimenter la base des connaissances scientifiques et technologiques fondamentales. J'espère également que sur un plan plus pratique, les connaissances et les informations spécialisées obtenues grâce à l'étude aideront nos sociétés à faire face à divers problèmes techniques, notamment à concevoir et à construire des installations sûres d'élimination des déchets radioactifs. □

atolls de Mururoa et de Fangataufa aux fins de la radioprotection, que ce soit maintenant ou à l'avenir;

■ De même, aucune surveillance plus poussée de l'environnement sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa n'est nécessaire aux fins de la radioprotection;

■ Bien que de nombreuses hypothèses aient été émises pour modéliser les systèmes, les résultats sont solides: les chances pour que des changements interviennent dans les conclusions en raison de l'incertitude des paramètres utilisés pour la modélisation sont minimales. De surcroît, les doses prévues sont tellement faibles que des erreurs même importantes n'auraient aucune incidence sur les conclusions.

Les experts ont également noté "qu'un programme scientifique de surveillance des concentrations de radionucléides dans la roche et

les cheminées de la cavité d'essai est en cours sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa. Si ce programme devait se poursuivre, les experts recommandent de placer l'accent sur la surveillance du comportement migratoire des radionucléides et radiocolloïdes à longue période et relativement mobiles, car ce comportement présente un intérêt scientifique particulier. Ce programme scientifique, complété par une surveillance des niveaux de radionucléides dans la biosphère, pourra également servir à rassurer le public quant à la sûreté radiologique des atolls."

L'étude a duré près de deux ans. Elle a fait intervenir environ 100 personnes et s'est traduite par la production d'environ 10 centimètres de rapports (*voir encadré*), des colloques spécialisés tenus en Polynésie française et à Fidji, où ont été examinés les résultats, et

ANALYSE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ENVIRONNEMENTS DES ATOLLS DE MURUROA ET DE FANGATAUFA: LES LABORATOIRES DE L'AIEA EN ACTION

TRAVAIL D'ÉQUIPE SCIENTIFIQUE

PIER ROBERTO DANESI ET PAVEL PETER POVINEC

Peu après que le Comité consultatif international ait été créé pour superviser l'étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa en Polynésie française, plusieurs problèmes scientifiques se sont posés. L'un de ces problèmes avait trait à la collecte et à l'analyse des données. La France avait effectué 193 essais d'armes nucléaires entre juillet 1966 et janvier 1996 sur les atolls, et un programme indépendant de prélèvements et d'analyses serait nécessaire. Ce programme servirait plusieurs fins: évaluer la crédibilité des données françaises disponibles et déterminer si la surveillance française offrait une estimation des concentrations et inventaires des radionucléides présents dans les milieux terrestre et marin qui permette de réaliser des évaluations de doses fiables.

La participation des laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf (Autriche) et à Monaco (LEM) a été sollicitée en raison de leur grande expérience de la surveillance de la radioactivité des milieux terrestre et marin.

Les campagnes de prélèvements terrestres et marins menées dans le cadre de l'étude se sont déroulées en 1996. Pour évaluer les besoins logistiques de missions dépêchées dans une zone aussi reculée, une équipe technique des laboratoires a visité les atolls en mars 1996. Elle a inspecté d'éventuels sites d'échantillonnage ainsi que des équipements et des installations de laboratoires, et a rencontré les membres du bureau de liaison français et le personnel local. Les programmes d'échantillonnage et

de surveillance ont ensuite été conçus et examinés par le Groupe A d'étude de Mururoa, présidé par le Dr A. McEwan du National Radiological Laboratory de Nouvelle-Zélande. Le groupe réunissait des experts du Danemark, du Japon, de Fidji, d'Australie, des États-Unis, d'Autriche et du Royaume-Uni.

Les campagnes se sont déroulées du 1er juillet au 2 août 1996. Les groupes chargés des prélèvements terrestres et marins ont été renforcés par plusieurs experts internationaux. L'analyse des radionucléides présents dans les échantillons prélevés a été effectuée en partie par les laboratoires de l'AIEA et en partie par un réseau de laboratoires internationaux indépendants.

LA CAMPAGNE DE PRÉLEVEMENTS TERRESTRES

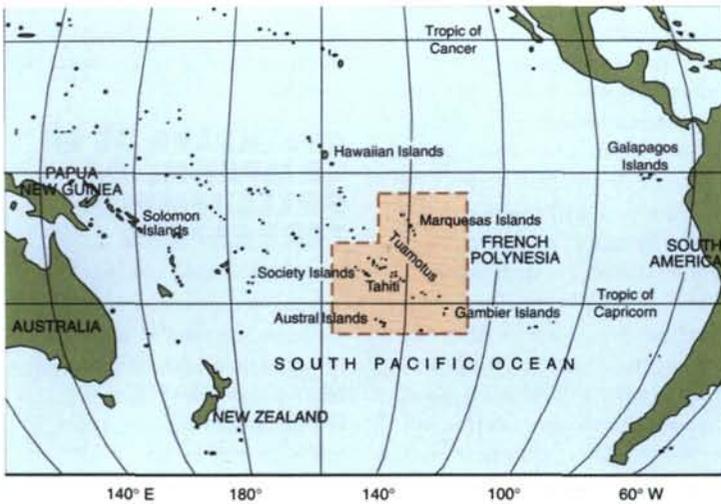
Le programme de prélèvements a été conçu pour obtenir des échantillons représentatifs de l'environnement. À l'exception de quelques échantillons prélevés dans la région de Colette (atoll de Mururoa), où des particules radioactives ont été étudiées, on a veillé à préparer et à traiter les échantillons de façon que tous les radionucléides soient répartis de façon homogène dans les sous-échantillons finals. En outre, chaque échantillon a été divisé en trois parties. La première a été mesurée par des laboratoires internationaux participants, la deuxième a été envoyée en France et la troisième a été conservée à Seibersdorf. Les protocoles français ont été examinés par le

personnel scientifique de Seibersdorf et d'autres experts internationaux. Ils ont été jugés satisfaisants et ont été strictement appliqués dans toutes les procédures d'échantillonnage afin d'assurer une comparabilité raisonnable des résultats avec les données françaises. Les échantillons prélevés ont ensuite été analysés par le laboratoire de Seibersdorf et par des membres du Réseau international de laboratoires d'analyse de la radioactivité environnementale de l'AIEA. Au sein de ce réseau de 53 laboratoires, onze ont été sélectionnés pour analyser les échantillons de Mururoa et de Fangataufa.

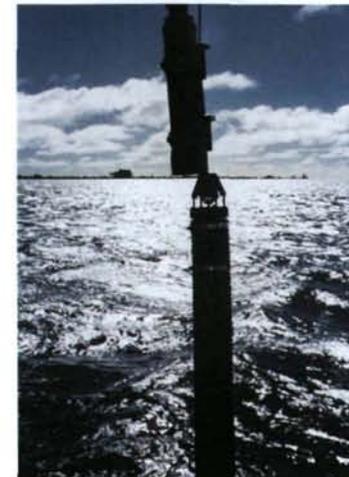
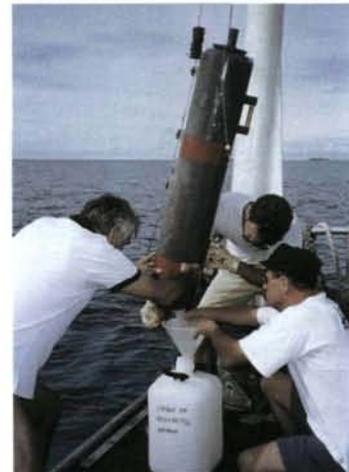
Lieux et échantillons. Les échantillons ont été prélevés sur quinze sites sélectionnés aussi proches que possible de ceux échantillonnés pendant des années par les campagnes françaises de surveillance de l'environnement. Par ailleurs, quelques échantillons ont été prélevés à Tureia, l'atoll habité le plus proche.

Plusieurs types d'échantillons, 299 au total, ont été prélevés. Une fois les échantillons triés pour connaître leur activité, 198 d'entre eux ont été analysés. Les échantillons (aérosols ou particules radioactives remises en suspension) prélevés par les filtres à air ont été analysés pour évaluer l'exposition potentielle par

M. Danesi est directeur des laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf et M. Povinec est chef de la Section de radiométrie au Laboratoire d'étude du milieu marin de l'AIEA à Monaco.



Location of French Polynesia in the South Pacific Ocean.



Carte: Emplacement des atolls de Mururoa et de Fangataufa dans le Pacifique sud. Les équipes chargées de l'étude ont prélevé quelque 300 échantillons en vue de leur analyse. Photos (en partant du haut, à droite): des membres de l'équipe d'échantillonnage prélèvent une carotte dans l'assise rocheuse de coraux à Fangataufa; des échantillons de roche sont prélevés à Mururoa; de l'eau est prélevée dans le lagon de Mururoa; un spectromètre gamma de fond est déployé dans le lagon de Mururoa; des échantillons de sédiment sont prélevés dans le lagon de Fangataufa.

(Photos: Laboratoires de l'AIEA Seibersdorf, LEM)

inhalation. Les filtres ont été rassemblés quotidiennement et mesurés à Mururoa pour déterminer les valeurs globales du rayonnement bêta et gamma. Ils ont ensuite été envoyés aux laboratoires de Seibersdorf, où l'on a mesuré les valeurs du rayonnement gamma et, après les avoir broyés, déterminé les valeurs globales du rayonnement bêta et gamma.

Des échantillons de terre végétale et des profils verticaux ont été prélevés chaque fois que possible pour estimer la contamination totale en surface et pour évaluer le transfert des radionucléides dans le sol.

Dans les zones dépourvues de terre, on a prélevé des coraux libres et des échantillons de sable. Le sable et les pierres libres des plages sont remués et mélangés par les vagues et les tempêtes. C'est pourquoi il a été jugé qu'un échantillonnage aléatoire suivi d'un mélange destiné à produire un échantillon composite représentant l'ensemble de la zone était la manière la plus satisfaisante d'obtenir des informations objectives.

Des carottes de roches coralliennes ont été prélevées pour étudier la migration vers le bas des radionucléides déposés initialement à la surface. Le profil de concentration verticale a également été un paramètre important pour calculer l'inventaire global des radionucléides à partir de la spectrométrie gamma réalisée *in situ*.

Aucune végétation ni aucun fruit ne poussent sur Mururoa et Fangataufa, à l'exception de quelques rares spécimens cultivés dans de très petits jardins privés utilisant de la terre importée d'autres parties de la Polynésie française. Il a néanmoins été jugé souhaitable d'obtenir quelques informations, même indirectes, sur les caractéristiques du

transfert des radionucléides du sol vers des plantes qui pourraient être cultivées par une population résidente hypothétique. On a donc, en l'absence de légumes et en manière de substitution, échantillonné et analysé des feuilles d'arbres et de buissons. Des données plus précises ont été obtenues pour les noix de coco. Les cocotiers ont été introduits à Mururoa il y a environ un siècle. Comme elles jouent un rôle très important dans l'alimentation des Polynésiens, on a prélevé des noix de coco en plusieurs endroits de Mururoa, à Tureia et dans quelques endroits isolés de Fangataufa. Les noix ont été choisies mûres afin de disposer d'échantillons aussi bien de jus que de chair (copra).

En différents endroits des deux atolls, 106 mesures de spectrométrie gamma *in situ* ont été effectuées à l'aide de détecteurs au germanium de grande pureté. Ces mesures avaient pour but de rassembler des informations sur les inventaires de surface et de sous-sol des radionucléides suivants: plutonium-239, amerícium-241, cobalt-60, césium-137 et europium-155.

Des analyses de spectrométrie gamma ont été effectuées sur 192 échantillons, tandis que les radionucléides émetteurs alpha et bêta ont été analysés dans 178 échantillons. Les mesures ont été effectuées en double et en triple conformément aux procédures de validation et de contrôle de la qualité. On a ainsi obtenu, au total, 941 mesures individuelles pour les radionucléides émetteurs alpha (plutonium-238, plutonium-239 et 240, et amerícium-241), 78 mesures pour le strontium-90 et 2520 résultats pour les différents radionucléides émetteurs gamma.

L'ensemble du processus d'échantillonnage, de préparation, de stockage et de distribution a été

mis en œuvre en appliquant de strictes procédures d'assurance de la qualité.

RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE PRÉLEVEMENTS TERRESTRES

D'emblée, il a été admis qu'une campagne qui ne durerait que quelques semaines ne pourrait produire qu'un échantillonnage relativement limité. Il en résulterait inévitablement des écarts, au niveau des concentrations de radionucléides, entre les échantillons ponctuels prélevés pendant la campagne et les ensembles de données bien plus importants accumulés pendant plusieurs années dans le cadre des campagnes de surveillance françaises. Compte tenu de l'expérience passée de l'AIEA en matière d'analyse, on escomptait, pour diverses raisons, un certain nombre d'écarts. Tout chevauchement des plages de valeurs pourrait donc être considéré comme le signe d'une concordance relative.

Les résultats de l'étude de Mururoa ont été comparés aux résultats français pour ce qui concernait les plages d'activité. L'analyse sommaire des plages observées pour le plutonium-239 et 240 et le césium-137 montre que pour la majorité des combinaisons de lieux et de types d'échantillon, les plages se chevauchent et concordent donc de façon satisfaisante. Quelques désaccords, cependant, ont été enregistrés. Bien qu'ils soient relativement insignifiants sur le plan du risque radiologique, il est utile de les examiner brièvement.

Au lieu dit "Irène" (extrémité occidentale du terrain d'aviation), les concentrations mesurées d'activité des aérosols pour les isotopes de plutonium étaient de 2 mBq/m^3 , tandis que les Français indiquaient une valeur de $0,11 \text{ mBq/m}^3$, mesurée à

l'extrémité orientale du terrain d'aviation (Kathie). Cet écart peut être attribué au fait que les Français avaient utilisé certains débris contaminés provenant du lieu dit "Colette" pour la construction de l'aéroport. Il n'était donc pas étonnant qu'une certaine remise en suspension de particules se traduise occasionnellement par une activité élevée dans certains échantillons d'air.

Au lieu dit "Faucon", trois échantillons de terre végétale révélaient des concentrations en plutonium-239 et 240 comprises entre 1200 et 1600 Bq/kg, concentrations nettement supérieures aux valeurs françaises qui, elles, s'échelonnaient de 0,6 à 360 Bq/kg. Cet écart peut être attribué à l'hétérogénéité, à petite échelle, de la répartition des radionucléides dans cette zone.

À proximité de la zone où des essais de sûreté ont été effectués (région de Colette), on a détecté des lieux de radioactivité et des particules radioactives contenant du plutonium-239 et de l'americium-241 (voir article page 43). Les concentrations de plutonium-239 et d'americium-241 mesurées à la surface se sont révélées être deux à six fois plus élevées que les valeurs françaises de 1987. Elles étaient comprises entre 1 et 3 MBq/m² pour le plutonium-239 et entre 20 et 70 kBq/m² pour l'americium-241.

L'écart a été attribué aux différentes méthodes de mesures utilisées par l'équipe internationale de l'AIEA et par les scientifiques français. L'équipe internationale, qui effectuait une série plus limitée de mesures, recourait à la spectrométrie gamma *in situ*, qui prend plus de temps, et utilisait un détecteur au germanium à haute résolution placé à une distance fixe du sol (un mètre), tirant parti des différentes énergies gamma produites par le plutonium-239 et l'americium-

241. On peut donc considérer que les niveaux d'activité obtenus par l'équipe de l'AIEA sont plus représentatifs de la situation qui prévalait à ce moment là.

Ces mesures ont également montré que le rapport d'activité entre le plutonium-239 et 240 d'une part, et l'americium-241 d'autre part, gravitait autour des deux valeurs de 45 and 60. Cela s'expliquait probablement par les différences d'âge et de pureté du plutonium utilisé dans les essais de sûreté. Il convient de souligner, toutefois, que les débits de dose externes calculés à partir de ces mesures de spectrométrie gamma *in situ* ne représentaient que quelques centaines de microSv par an.

Au lieu dit "Kilo", sur l'atoll de Fangataufa, l'équipe internationale a mesuré les concentrations les plus élevées de césium-137 et de strontium-90 relevées dans la chair et le jus de noix de coco. Ces niveaux d'activité peuvent être considérés comme insignifiants du point de vue du risque radiologique: ils sont nettement (trois fois) inférieurs aux niveaux naturels d'activité du potassium-40 relevés dans tous les échantillons de jus de noix de coco.

Sur l'atoll habité de Tureia, l'équipe a détecté une activité due au plutonium-239 et 240, au césium-137 et au strontium-90 dans des échantillons de sol, de végétation et de noix de coco. En règle générale, les niveaux d'activité étaient tous faibles et sans conséquence radiologique.

En conclusion, les concentrations d'activité mesurées dans le cadre de la campagne de prélèvements terrestres se sont révélées concorder avec les données françaises. On peut donc estimer qu'elles décrivent de façon complète et fiable les quantités de matières radioactives artificielles présentes dans le milieu terrestre des atolls.

LA CAMPAGNE DE PRÉLEVEMENTS MARINS

Le groupe chargé des prélèvements marins, qui était coordonné par le Laboratoire de l'environnement marin (LEM), avait pour mission d'examiner les données fournies par les autorités françaises concernant les répartitions des radionucléides dans les environnements du littoral et du sous-littoral des atolls. Le double objectif était de mettre en œuvre de nouvelles activités de surveillance suffisantes et indépendantes, sur les atolls et à proximité, afin de valider les données françaises existantes. Dans le même temps, la surveillance fournirait un ensemble de données représentatif et de qualité sur les concentrations des radionucléides présents dans le milieu marin.

L'expédition d'échantillonnage aquatique organisée à Mururoa et à Fangataufa s'est déroulée du 1er au 27 juillet 1996. Les travaux ont consisté à prélever des échantillons adéquats et comparables d'eau, de biote et de sédiments dans les lagons des atolls et dans l'océan entourant ces derniers. Les résultats obtenus, combinés à des données d'intercomparaison antérieures obtenues par l'AIEA en 1994, ont été utilisés pour valider les données bien plus nombreuses obtenues dans le cadre des campagnes de surveillance françaises.

Cinq chercheurs de laboratoires d'États membres de l'AIEA et quatre chercheurs du LEM ont participé à la campagne de prélèvements marins. L'équipe a opéré en parallèle, sur cinq navires simultanément. Les échantillons ont été prétraités dans quatre laboratoires de Mururoa gérés de façon indépendante.

Comme lors de la campagne de prélèvements terrestres, tous les échantillons ont été prélevés en triple. Plus de 300 échantillons ont

été prélevés (eau des lagons, eau de l'océan, eau des pores de sédiments, sédiments, coraux et biote). Quelque 13000 litres d'eau et une tonne d'échantillons solides ont été prélevés, traités, emballés et transportés à Monaco en vue de leur expédition vers dix laboratoires d'analyse répartis dans huit pays.

Le spectrométrie gamma sous-marine a été utilisée pour mesurer l'activité gamma des sédiments *in situ*. L'étude avait pour objet d'identifier les zones les plus contaminées et d'orienter les activités subséquentes d'échantillonnage. Elle a été réalisée à l'intérieur des lagons des atolls de Mururoa et de Fangataufa. La topographie accidentée du fond ne permettant pas de remorquer des dispositifs benthiques, les mesures ont été effectuées suivant un réseau discret de points. Ce réseau était principalement formé de transversales parcourant les zones de très forte contamination identifiées par les Français.

L'équipe a évalué les taux de comptage gamma imputables au cobalt-60 et au césium-137, dont la répartition dans les sédiments des lagons, en raison de différentes origines et géochimies, n'est pas nécessairement identique à celle du plutonium. Des études françaises antérieures avaient, cependant, montré une corrélation entre leur répartition et celle du plutonium.

À l'issue de cette étude, des échantillons ont été prélevés sur les sites identifiés comme représentant des valeurs maximales de contamination locale. Plus tard, des analyses d'étalonnage et de corrélation ont été effectuées pour calculer les inventaires de cobalt-60 et de césium-137 à partir des mesures réalisées *in situ*, ainsi que pour estimer les inventaires de cobalt-60 et de plutonium-239 et 240 dans les sédiments des lagons.

La spectrométrie gamma sous-marine – méthode très

perfectionnée – s'est avérée efficace pour identifier sur place les zones de très forte contamination du fond. Faute d'utiliser cette méthode, il aurait fallu recourir à une longue procédure d'échantillonnage, de préparation des échantillons et de comptage.

Un réseau de laboratoires d'étude du milieu marin a réalisé les analyses. Outre le LEM de l'AIEA, ce réseau réunissait six laboratoires de renommée internationale fournissant des données de qualité en Australie, au Danemark, en Allemagne, en Nouvelle-Zélande, au Royaume-Uni et aux États-Unis. Ces laboratoires avaient tous participé à des exercices réguliers d'intercomparaison organisés par le LEM et avaient fait la preuve, grâce à des tests d'aptitude spécialement conçus, de leur bon niveau de compétence en matière d'analyse.

RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE PRÉLEVEMENTS MARINS

La campagne de prélèvements marins a corroboré les nombreuses données disponibles et a fourni des renseignements scientifiques supplémentaires. Les concentrations d'activité des radionucléides dans le milieu aquatique se sont révélées généralement faibles et comparables aux données françaises communiquées.

Du strontium-90 et du césium-137 résiduels étaient mesurables dans l'environnement des deux lagons, mais leurs concentrations étaient très faibles. Les activités typiques étaient les suivantes: dans l'eau des lagons, environ 2 Bq/m^3 (à peine supérieure au niveau prévalant généralement dans le Pacifique sud du fait des retombées mondiales); et dans les poissons des lagons, moins de $0,3 \text{ Bq/kg}$ pour le césium-137 et bien moins pour le strontium-90 (par

comparaison, l'activité du potassium-40 radioactif naturellement présent dans le poisson est de l'ordre de 100 Bq/kg).

Pour des habitants hypothétiques de l'atoll de Mururoa, le principal facteur d'exposition serait le plutonium-239 et 240. Les niveaux de plutonium avoisinaient $0,3 \text{ Bq/m}^3$ dans les eaux du lagon, $0,01 \text{ Bq/kg}$ dans le poisson, $0,08 \text{ Bq/kg}$ dans les crustacés et $0,8 \text{ Bq/kg}$ dans les mollusques du lagon (près de 100 fois les concentrations de ces radionucléides présentes dans l'océan et dans le biote correspondant de l'océan du fait des retombées mondiales). Ces concentrations d'activité sont toutefois très faibles et n'ont aucune conséquence sur le plan radiologique.

Les analystes ont noté une évolution dans le temps des concentrations de tritium, de strontium-90, de césium-137 et de plutonium-239 et 240 dans l'eau des lagons. Le confinement n'a pas toujours eu la même efficacité lors des 137 essais nucléaires souterrains et il apparaît, vu les concentrations élevées de tritium qui ont persisté pendant quelques années, que des fuites de tritium se sont produites vers les deux lagons. Ce fait a été confirmé par les données fournies par le bureau de liaison français concernant les niveaux de tritium et sa répartition dans les roches carbonatées des deux atolls.

Les mesures effectuées en 1996 indiquent que les niveaux de tritium présents dans les lagons commencent peut-être à chuter (cette évolution pourrait cependant s'inverser pour le lagon de Mururoa, le tritium des essais nucléaires souterrains continuant de migrer vers l'eau du lagon). Actuellement, les niveaux de strontium-90 semblent augmenter légèrement. Les niveaux de

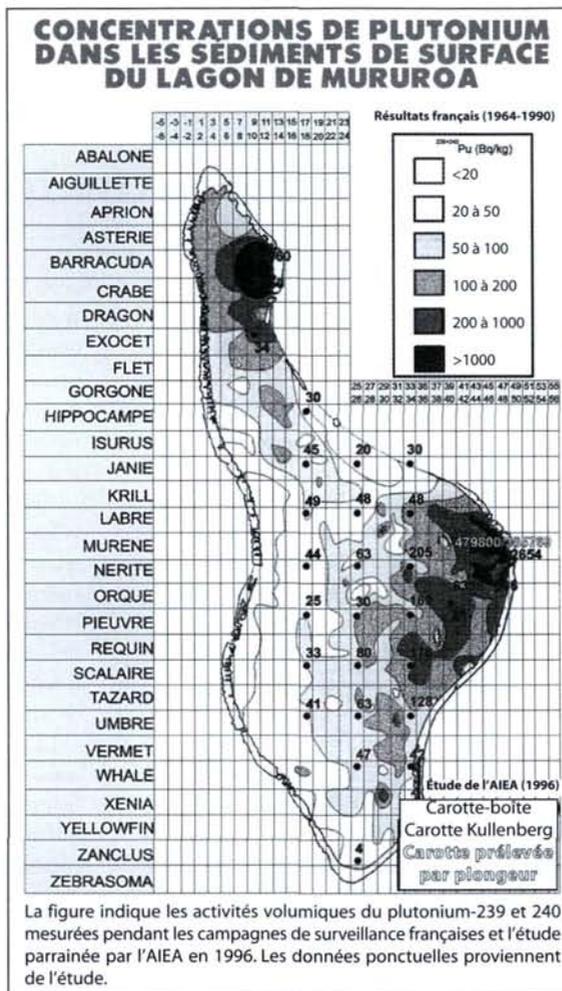
césium-137 et de plutonium-239 et 240 diminuent depuis plusieurs années, et ce plus rapidement qu'on ne l'escomptait du fait de la seule désintégration radioactive.

Le radionucléide dominant observé dans les sédiments de lagons était le plutonium-239 et 240. Ses concentrations de surface oscillaient entre quelques dizaines de Bq/kg de sédiments dans la partie centrale des lagons et quelques milliers de Bq/kg à Denise et Dindon (Mururoa) et à Frégate aux points chauds de Fangataufa subsistant après les essais sur barge. Les concentrations les plus élevées de plutonium-239 et 240 ont été observées à Colette (jusqu'à 50000 Bq/kg) dans les sédiments du rivage contaminés par des essais de sûreté.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Globalement, les campagnes de prélèvements menées dans le cadre de l'étude de Mururoa ont révélé que les milieux terrestre et marin des atolls de Mururoa et de Fangataufa accessibles à la population contiennent des matières radioactives résiduelles imputables aux essais nucléaires. Ces matières se trouvent cependant en concentrations généralement faibles n'ayant aucune incidence sur le plan radiologique.

On note, en revanche, certains éléments dont les incidences radiologiques peuvent présenter un intérêt:



■ En règle générale, on a noté une concordance raisonnable entre les résultats de l'étude et les données françaises. On a observé, dans les lagons, une diminution des concentrations de radionucléides par rapport aux données françaises. Les concentrations de radionucléides dans le biote étaient faibles et concordaient avec les données obtenues précédemment par l'AIEA et par la France.

■ Des particules contenant du plutonium et de petites quantités d'américium provenant des essais de sûreté atmosphériques persistent au niveau des sites d'essais – les motus de Colette, Ariel et Vesta sur l'atoll de Mururoa.

■ Des niveaux élevés de césium-137 (environ 1kBq/kg) ont été relevés sur de petites zones totalisant plusieurs hectares sur la ceinture Kilo-Empereur de Fangataufa.

■ Plusieurs kilogrammes de plutonium provenant des essais nucléaires atmosphériques effectués sur les atolls persistent dans les sédiments des lagons. Une partie du plutonium présent dans les sédiments du lagon de l'atoll de Mururoa provient des essais de sûreté atmosphériques. L'inventaire total de plutonium-238, 239 et 240 dans les deux lagons a été estimé à environ 30 TBq. Les inventaires d'américium-241, de césium-137, d'europium-155 et de cobalt-60 étaient (chacun) inférieurs à 1TBq.

■ Les concentrations de tritium, de strontium-90, de césium-137 et de plutonium-239 et 240 dans chaque lagon se sont révélées supérieures à celles relevées au large du fait de la lixiviation des sédiments (trois derniers radionucléides) et de la contribution de sources souterraines (deux premiers radionucléides). Les taux estimatifs de libération des radionucléides provenant des deux lagons vers le large étaient les suivants (en TBq/an): 6 pour le tritium, 0,03 pour le strontium-90, 0,01 pour le césium-137 et 0,01 pour le plutonium 238, 239 et 240.

■ Les coefficients de distribution et les facteurs de concentration appliqués aux deux lagons se sont révélés correspondre aux plages de valeurs recommandées par l'AIEA. □

RÉSIDUS RADIOACTIFS PROVENANT DES ESSAIS D'ARMES NUCLEAIRES SOUTERRAINS: EVALUATION DE MURUROA LA MIGRATION DES RADIONUCLEIDES DANS LA GEOSPHERE

ROBERT FRY, DES LEVINS ET ERNST WARNECKE

Après avoir mis fin à ses essais nucléaires atmosphériques en 1974, le Gouvernement français a effectué, entre 1975 and 1996, 147 autres expériences nucléaires sous les atolls de Mururoa et de Fangataufa. Sur ce nombre, dix étaient des essais de sûreté (destinés à simuler les conditions d'un accident) au rendement faible, voire nul.

On n'a fait exploser, dans le sous-sol de Mururoa et de Fangataufa, aucun engin nucléaire à très haut rendement. Aucun n'a excédé 150 kilotonnes et la libération totale d'énergie produite par tous les essais souterrains s'est élevée, selon les autorités françaises, à 3,2 mégatonnes (*voir tableau page 32*). Il s'est produit dans le monde plus de 1800 essais nucléaires souterrains d'un rendement total de 90 mégatonnes, soit trente fois celui signalé pour les essais français.

Lors des essais nucléaires atmosphériques, la plupart des matières radioactives se dispersent dans l'atmosphère supérieure et se déposent, en fin de compte, dans le monde sous la forme de retombées. Les matières radioactives résiduelles provenant des essais souterrains, en revanche, sont largement confinées dans la roche hôte, même s'il existe un risque de libération de radionucléides dans l'environnement local. Pour évaluer les conséquences radiologiques des essais souterrains, il est nécessaire d'estimer les futures quantités de radionucléides passant de la géosphère dans l'environnement accessible sur des périodes de temps couvrant généralement 10000 ans ou plus.

L'estimation des vitesses de libération des radionucléides à partir de la géosphère a été l'une des tâches les plus complexes et ardues de l'étude globale qui a été faite de la situation prévalant sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa. Bien que la géologie des atolls soit à de nombreux égards singulière, la méthodologie utilisée dans le cadre de l'étude peut s'appliquer à l'évaluation de la migration des radionucléides à partir d'autres sites d'essais souterrains.

LA GÉOLOGIE DE L'ATOLL

Vus de l'air, les atolls ressemblent à des anneaux de corail dépassant de quelques mètres seulement le niveau de la mer. En réalité, il s'agit de massifs monts volcaniques surgissant d'une profondeur d'environ quatre kilomètres et recouverts de plusieurs centaines de mètres de roche carbonatée (provenant d'accrétions coralliennes).

Les éruptions volcaniques qui ont conduit à la formation des atolls se sont produites il y a environ 11 millions d'années. Alimentés par un point chaud situé dans l'écorce terrestre, les volcans ont pris de l'importance, atteignant la surface de l'océan et continuant, pendant quelque temps, comme volcans subaériens. Lorsque l'activité volcanique a cessé, les structures se sont lentement affaissées en raison de leur énorme poids et de la situation isostatique de la plaque Pacifique sous-jacente. Pendant les périodes de glaciation, le niveau de la mer a parfois baissé de 120 mètres, tuant les coraux et exposant le carbonate aux effets de l'érosion

et de la lixiviation par l'eau de pluie. Il est très probable que les karsts (zones interconnectées hautement perméables), que l'on trouve dans les roches carbonatées, se sont formés pendant ces périodes de glaciation.

Aujourd'hui, les roches volcaniques sont parfois recouvertes de 450 mètres de roche carbonatée, dont les parties inférieures ont été transformées en dolomite par des processus d'échange diagénétique avec l'eau de mer environnante.

La base volcanique de l'atoll consiste en un vaste réseau de fissures essentiellement linéaires de différentes tailles. Ces passages conducteurs ont été créés par divers mécanismes: intrusions magmatiques à grande échelle, processus de contraction lors du refroidissement et fissures plus importantes (levées et seuils) produites par des injections magmatiques qui ont eu lieu après le refroidissement de la masse rocheuse volcanique initiale. Ce réseau de fissures est la principale voie de passage de l'eau (et des radionucléides).

Les surfaces de ces passages basaltiques initialement importants

M. Fry a assuré les fonctions de directeur technique de l'AIEA pour l'Étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa. M. Levins, de l'Australian Nuclear Science and Technology Organization, a présidé le Groupe spécial B. M. Warnecke, fonctionnaire de la Division de la radioprotection et de la sûreté des déchets de l'AIEA, a participé au Groupe de travail 3.

sont altérées chimiquement par l'écoulement de l'eau et peuvent, au fil du temps, devenir partiellement obstruées par des produits d'altération tels que des argiles et de la calcite. Ces produits d'altération occupent généralement une grande superficie et retiennent très bien certains radionucléides, en particulier les actinides. Ils jouent donc un rôle important dans le ralentissement de la migration des radionucléides dans la géosphère.

ESSAIS NUCLEAIRES ET EMBLEMES

Une explosion nucléaire souterraine provoque la fusion et la vaporisation de la roche volcanique des atolls dans le voisinage immédiat de la détonation pour former une cavité grossièrement sphérique et, au fond de cette cavité, un bassin lenticulaire de roche volcanique fondue qui se refroidit pour former une lave vitreuse.

La masse de matières vaporisées lors d'une explosion nucléaire est d'environ 80 tonnes par kilotonne de rendement. La quantité de lave formée varie de 500 à 1000 tonnes par kilotonne de rendement en fonction de la nature de la roche et de son taux d'humidité.

Les autorités françaises n'ont pas indiqué à l'équipe chargée de l'étude l'emplacement exact de chacun des 147 essais souterrains. Elles ont en revanche fourni un plan de chaque atoll indiquant les zones d'essais, le nombre d'essais effectués, leur rendement maximum et le rendement total de chaque zone.

Tous les essais nucléaires ont été effectués dans la roche volcanique à des profondeurs comprises entre 500 et 1100 mètres. Sur les dix essais de sûreté, tous ont été effectués dans une même zone de Mururoa et sept ont eu lieu dans les roches carbonatées à des profondeurs supérieures à 280 mètres. Trois des essais de sûreté

effectués dans les roches carbonatées avaient un faible rendement nucléaire.

Lors des essais, on n'est pas toujours parvenu à contenir avec la même efficacité les radionucléides produits par l'explosion nucléaire. Pour faciliter le calcul, les termes sources discrets ont été regroupés en sept catégories:

Catégorie 1. Cent-vingt et un essais normaux pour lesquels il existait une épaisseur suffisante de roche volcanique essentiellement intacte au dessus de chaque cheminée d'essai pour garantir un bon confinement.

Catégorie 2. Quatre essais en présence d'une épaisseur de couverture apparemment suffisante mais également d'insuffisances dans la couverture volcanique.

Catégorie 3. Douze essais lors desquels la cavité/cheminée a atteint le haut de la roche volcanique.

Catégorie 4. Trois essais de sûreté ayant produit un rendement de fission (très faible), à au moins 280 mètres de profondeur dans la roche carbonatée.

Catégorie 5. Quatre essais de sûreté effectués à au moins 280 mètres de profondeur dans la roche carbonatée et n'ayant produit aucun rendement de fission.

Catégorie 6. Trois essais de sûreté effectués dans la roche volcanique et n'ayant produit aucun rendement de fission.

Catégorie 7. Deux puits de stockage de déchets creusés en profondeur dans la roche volcanique et dans lesquels on a placé des déchets contenant 3,7 kilogrammes de plutonium.

Dans la pratique, on a observé que la libération de radionucléides dans la biosphère pouvait être essentiellement attribuée à quatre catégories: les catégories 2, 3, 4 et 5.

INVENTAIRE DES RADIONUCLÉIDES

La première étape, pour estimer la vitesse de migration des

radionucléides, consiste à calculer l'inventaire des radionucléides présents dans le sous-sol. Les scientifiques français ont indiqué les valeurs limites supérieures de rendement de chaque zone d'essais. Ces valeurs ont été vérifiées indépendamment à l'aide de données indépendantes fournies pour chaque essai par la station sismologique de Rarotonga (Îles Cook). On a constaté une excellente concordance entre les données françaises et les estimations de l'AIEA, ce qui donnait à penser que les limites supérieures françaises étaient véritablement très proches des valeurs réelles.

L'inventaire des radionucléides a été estimé sur la base des rendements en émettant quelques hypothèses raisonnables concernant la proportion d'énergie produite par la fission du plutonium-239, de l'uranium-235 et de l'uranium-238 ainsi que par la fusion des isotopes d'hydrogène. Ces estimations concordaient également de façon satisfaisante avec les informations fournies par les autorités françaises (*voir tableau page suivante*).

HYDROGÉOLOGIE DES ATOLLS

Les zones volcanique et carbonatée de l'atoll sont toutes deux saturées d'eau. Pour l'essentiel, la circulation des eaux souterraines de l'atoll est régie par des forces de volume dues au flux géothermique chauffant le système par le bas. Les eaux froides et plus denses de l'océan pénètrent en profondeur par les flancs de l'atoll, s'écoulent vers les régions centrales plus chaudes, se réchauffent progressivement, deviennent plus légères et remontent vers le lagon. La grande perméabilité des formations carbonatées permet d'importants flux centripètes et quasi-horizontaux d'eau froide.

Après une explosion nucléaire, l'hydrologie à proximité de la

cavité/cheminée se modifie du fait de l'augmentation de la perméabilité et du réchauffement de l'eau et de la roche. Il en résulte une augmentation des flux d'eau ascendants entre la cavité/cheminée et l'environnement accessible.

Une fois l'équilibre thermique établi, la température à l'intérieur de la cavité/cheminée est supérieure de quelque 25 à 50° C à la température ambiante. Cette hausse de température est essentiellement indépendante du rendement de l'essai. À l'intérieur de la cavité/cheminée, la température diminue très lentement en quelques centaines d'années sous l'effet combiné de la convection et de la conduction.

S'agissant du flux des eaux souterraines sous l'atoll de Mururoa, les vitesses sont très élevées à proximité de chaque essai et dans les roches carbonatées les plus perméables. Dans la roche carbonatée, le flux dépend également des fluctuations des marées, qui mélangent effectivement l'eau dans la zone carbonatée (en particulier les karsts) et influent ainsi sur la vitesse de libération des radionucléides tant dans le lagon que directement dans l'océan.

MIGRATION DES RADIONUCLÉIDES

Pour pouvoir migrer dans la géosphère, les radionucléides doivent être présents en phase aqueuse. Du fait des pressions élevées qui prévalent en profondeur, les radionucléides volatils ou gazeux (tritium, gaz nobles et iode) présents initialement en phase gazeuse se dissolvent dans l'eau.

La plupart des radionucléides, cependant, sont soit piégés dans la lave, soit sorbés sur les éboulis. Les données expérimentales montrent les radionucléides se libèrent de la lave et des éboulis suivant différents mécanismes. La lixiviation de la lave est un

INVENTAIRE DE CERTAINS RADIONUCLÉIDES A LONGUE PERIODE SUR LES ATOLLS DE MURUROA ET DE FANGATAUFA

Radionucléide	Résultats de l'étude (TBq)		
	Mururoa	Fangataufa	Total
Tritium	232 000	48 000	280 000
Carbone-14	25	2,6	28
Chlore-36	1,3	0,4	1,7
Calcium-41	1,0	0,3	1,3
Nickel-59	2,9	0,9	3,8
Nickel-63	340	110	450
Sélénium-79	0,008	0,003	0,011
Krypton-85	670	380	1000
Strontium-90	7300	3500	10 800
Zirconium-93	0,23	0,09	0,32
Technétium-99	1,9	0,6	2,5
Palladium-107	0,18	0,03	0,21
Iode-129	0,0047	0,0014	0,0061
Césium-135	0,20	0,07	0,27
Césium-137	10 700	4100	14 800
Europium-152	230	100	330
Neptunium-237	0,22	0,03	0,25
Plutonium-238	185	15	200
Plutonium-239	1030	70	1100
Plutonium-240	280	20	300
Plutonium-241	6200	620	6800
Américium-241	350	30	380

COMPARAISON DES ESTIMATIONS DE RENDEMENT DES ESSAIS NUCLÉAIRES SOUTERRAINS

Emplacement	Nombre d'essais	Énergie totale (équivalent kilotonnes TNT)	
		Estimation étude	Valeur française
Ceinture de Mururoa	83	970	<1060
Lagon de Mururoa	54	1443	<1450
Ceinture de Fangataufa	2	39	<20
Lagon de Fangataufa	8	731	<750
Total	147	3183	<3280

processus lent à vitesse limitée, tandis que la libération des radionucléides à partir des éboulis est supposée être un processus dépendant de l'équilibre entre les eaux souterraines et les radionucléides sorbés sur les surfaces solides.

Dans le cadre de l'étude, on a utilisé un modèle de porosité double pour estimer les vitesses de migration des radionucléides de la cavité d'essai vers la formation carbonatée. Des calculs ont été effectués pour 32 radionucléides, en portant une attention particulière aux quatre radionucléides clés: le plutonium-

239, le césium-137, le strontium-90 et le tritium.

Dans le cadre de l'analyse, un programme d'échantillonnage indépendant des eaux souterraines a été mis en œuvre. Ce programme avait pour but de vérifier les résultats de mesures plus importantes réalisées par les scientifiques français et de comparer les prévisions de l'équipe aux concentrations de radionucléides mesurées. Des échantillons d'eau ont été prélevés dans la cavité/cheminée de deux essais et en neuf autres endroits, dans les formations carbonatées.

On a noté une bonne concordance entre les données françaises et les résultats de l'étude. Les concentrations de plutonium se sont révélées être soit proches du seuil de détection, soit indétectables, même à l'intérieur des cavités/cheminées. Il a été conclu que le plutonium est effectivement retenu dans la lave vitreuse formée par l'explosion nucléaire, l'hypothèse initiale selon laquelle 5% de ce plutonium s'est déposé sur les éboulis étant toutefois maintenue à titre conservatoire.

À partir des résultats des prélèvements souterrains, on a procédé à l'estimation des inventaires de radionucléides présents dans certaines zones des formations carbonatées. Les radionucléides présents dans la formation carbonatée peuvent être libérés dans la biosphère soit par le flux ascendant des eaux souterraines vers les lagons, soit par les flux s'écoulant le long des couches karstiques et dans l'océan à une profondeur d'environ 300 mètres.

Bien que les formations carbonatées soient très perméables, elles forment également d'importants réservoirs d'eau, et le temps moyen de séjour est bien plus long que la période de certains radionucléides tels que le tritium, le strontium-90 et le césium-137.

Deux modèles ont été évalués pour décrire la libération dans la biosphère: un modèle de porosité simple et un modèle de mélange.

Dans le modèle de mélange, la vitesse de libération dans les lagons ou l'océan est proportionnelle à l'inventaire présent dans les carbonates. En ce qui concerne la migration vers le lagon, la constante de proportionnalité peut être calculée à partir des estimations de l'inventaire actuel de tritium présent dans les formations carbonatées et des mesures de l'élévation des concentrations de tritium dans les lagons. Cela correspond à une vitesse de libération d'environ

0,12% de l'inventaire par an. S'agissant de la libération des radionucléides dans l'océan, sa vitesse a été estimée à environ 5% par an sur la base de données limitées de dispersion latérale du tritium dans les carbonates.

En utilisant le modèle de mélange pour la libération des radionucléides provenant des carbonates et le modèle de porosité double pour leur migration dans les formations volcaniques, on a estimé les inventaires présents dans le carbonate et les vitesses de libération dans la biosphère sur plusieurs centaines d'années pour le tritium, le strontium-90 et le caesium-137, et sur plus de 100000 ans pour le plutonium-239.

La principale conclusion que l'on peut tirer de ces prévisions est que les futures vitesses de libération du tritium, du strontium-90 et du césium-137 dans les lagons ne seront probablement pas supérieures aux vitesses de libération actuelles. Les vitesses de libération maximales prédites dans les profondeurs de l'océan se sont déjà produites.

En ce qui concerne le plutonium-239, on prévoit que les vitesses de libération les plus élevées en provenance de sources souterraines se produiront dans 5000 à 10000 ans, mais qu'elles seront probablement inférieures aux vitesses actuelles de libération dans les lagons en raison de la lixiviation des sédiments contenant du plutonium.

Les vitesses de libération dans les lagons et l'océan prédites à l'aide des modèles décrits ci-dessus ont été utilisées pour modéliser la dispersion marine des radionucléides et, en dernier ressort, estimer les doses liées à l'exposition à ces radionucléides (voir articles pages 34 et 38).

CONCLUSIONS

Les principales conclusions de l'évaluation de la migration des

radionucléides à partir des sources souterraines des atolls de Mururoa et de Fangataufa sont les suivantes:

■ Les estimations indépendantes de libération d'énergie et d'inventaires de radionucléides provenant des essais souterrains ont concorde de façon satisfaisante avec les valeurs indiquées par les autorités françaises.

■ Les essais nucléaires se traduisent par une augmentation de la perméabilité de la roche avoisinante.

■ Il existe, dans les roches volcaniques et carbonatées, un flux ascendant naturel des eaux souterraines qui atteint une valeur maximale à proximité immédiate d'un essai nucléaire.

■ L'échantillonnage et l'analyse en sous-sol de l'eau de deux cavités/cheminées font apparaître une très faible concentration de plutonium. La majeure partie (>99%) de ce dernier est effectivement piégée dans la lave vitreuse solidifiée formée après l'explosion nucléaire.

■ Dans les zones carbonatées, certains effets de la marée sont susceptibles d'entraîner une libération de radionucléides directement dans les profondeurs de l'océan.

■ La plupart des radionucléides libérés rapidement proviennent de quelques essais relativement rares au cours desquels il n'existait, au dessus de la cavité/cheminée, aucune couverture volcanique ou une couverture défectueuse.

■ Seule une très faible fraction de l'inventaire de radionucléides passe de la géosphère dans l'environnement accessible. Les vitesses de libération les plus élevées (en termes d'activité) sont imputables au tritium mais n'ont aucune incidence radiologique. Les vitesses de libération d'autres radionucléides sont généralement indétectables dans l'environnement en raison des fortes dilutions observées dans les lagons et l'océan. □

DISPERSION DES RADIONUCLÉIDES RÉSIDUELS DE MURUROA ET DE FANGATAUFA DANS L'OCEAN DES ATOLLS VERS LA MER

PAVEL PETER POVINEC ET EKKEHARD MITTELSTAEDT

Modéliser la migration des radionucléides dans le milieu marin est un exercice complexe. Dans le cadre de l'étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa, des scientifiques ont étudié la dispersion des radionucléides après leur libération en provenance des lagons de Mururoa et de Fangataufa et de sources souterraines.

Ont été étudiés les processus de mélange qui interviennent au sein des lagons, les rejets qui se produisent dans l'océan et la migration des radionucléides vers les rivages des îles voisines et des continents distants.

Le présent article décrit les travaux menés dans le cadre de l'étude pour évaluer la dispersion des radionucléides résiduels dans l'océan et en résume les principaux résultats.

MÉTHODOLOGIE ET APPROCHES

Aux fins de la modélisation, on a divisé l'étendue entourant la source de radioactivité (c'est-à-dire l'endroit où les radionucléides sont libérés dans le milieu marin) en trois grandes zones: le champ proche (les lagons); le champ régional (en gros, le territoire de la Polynésie française); et le champ lointain (l'océan Pacifique sud au delà du champ régional).

Pour comprendre la dynamique de l'eau et des sédiments dans le champ proche, le Groupe de modélisation du milieu marin de Mururoa a élaboré deux modèles. Un modèle de brassage de l'eau a

servi à estimer les concentrations de radionucléides dans les lagons pour des libérations données en provenance du sous-sol des lagons ainsi que le flux des radionucléides des lagons vers l'océan environnant.

Un modèle de sédiments a été mis au point pour prédire le mouvement des sédiments entre les lagons et l'océan. On a estimé la quantité de sédiments et la quantité correspondante de plutonium quittant les lagons chaque année dans des conditions climatiques normales ou en cas de forte tempête.

On a évalué les taux de libération de radionucléides à partir des sédiments des lagons, ce qui a permis d'estimer les taux de libération, dans le temps, du plutonium, du césium-137, du strontium-90 et du tritium des lagons vers les océans.

Trois modèles à compartiments ont été utilisés pour modéliser la dispersion des radionucléides dans le champ régional. Ces modèles couvrent différentes zones avec différentes résolutions et présentent chacun des points forts et faibles particuliers. Pris ensemble, ils donnent une indication de l'incertitude probable des estimations de dispersion et renforcent la solidité des conclusions finales.

La migration et la dispersion des radionucléides dans le champ lointain a été évaluée à l'aide d'un modèle prédictif de circulation océanique.

Ces modèles ont permis d'estimer les concentrations de radionucléides dans l'océan en

fonction du temps et de l'endroit. Ces concentrations ont servi à estimer les doses qui seraient reçues à l'avenir par des individus réels et hypothétiques en différents lieux et à différents moments.

MODÉLISATION DES LAGONS

Les radionucléides présents dans les eaux des lagons proviennent de la lixiviation des matières radioactives présentes dans les sédiments de ces lagons et de la migration de matières à partir des sources souterraines. Leur concentration dans les eaux des lagons dépend de leur vitesse de libération dans le lagon et de la vitesse à laquelle les eaux des lagons se mélangent à celles de l'océan. Lorsque des radionucléides se libèrent dans le lagon, les deux premières phases du processus de dispersion sont le mélange de ces radionucléides dans le lagon et l'échange d'eaux entre le lagon et l'océan. Un modèle hydrodynamique de circulation dans les lagons a été mis au point et l'on a estimé le temps moyen de rotation des eaux avec l'océan. Le temps moyen de rotation, sur l'ensemble des

M. Povinec est chef de la Section de radiométrie au Laboratoire d'étude du milieu marin de l'AIEA à Monaco. M. Mittelstaedt, de l'Agence maritime et hydrographique fédérale d'Allemagne, a présidé le Groupe de travail sur la modélisation du milieu marin de l'Étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

saisons, a été estimé, respectivement, à 98 ± 37 jours et à 33 ± 12 jours pour les lagons de Mururoa et de Fangataufa.

Il importe de connaître le devenir ultime des sédiments non consolidés (notamment du plutonium) sur le fond des lagons si l'on veut évaluer les incidences à long terme de la situation radiologique des atolls.

Un modèle de migration des sédiments élaboré pour le lagon de Mururoa a permis d'évaluer approximativement à 80 000 tonnes le taux annuel moyen d'élimination des sédiments du fond par la passe qui s'ouvre sur l'océan. Une tempête cyclonique est toutefois capable d'éliminer des quantités très importantes de sédiments du lagon. Une telle tempête pourrait éliminer environ 4×10^6 tonnes de sédiments, essentiellement sur le pourtour de l'atoll.

La vitesse de libération équivalente annuelle de plutonium à partir de cette source a été estimée à environ 0,1 TBq. Le terme source devrait diminuer après une période effective d'environ dix ans en raison de l'enterrement progressif des sédiments contenant du plutonium par des sédiments plus récents.

VITESSES DE LIBÉRATION DES RADIONUCLÉIDES

Quatre radionucléides (tritium, strontium-90, césium-137 et plutonium-239 et 240) ont été considérés comme présentant le plus grand intérêt pour les exercices de modélisation. Les analystes ont tenu compte de la contribution aussi bien de la lixiviation des sédiments des lagons que des sources souterraines.

En ce qui concerne le tritium (période de 12,3 ans), qui est observé sous forme d'eau, on ne relève aucune contribution des

sédiments. Les concentrations observées (environ 200 Bq/m^3 , soit deux fois plus que le fond naturel océanique) sont entièrement dues à des sources souterraines. Les concentrations de tritium dans les lagons demeurent relativement constantes pendant les deux prochaines décennies avant de diminuer lentement.

Pour ce qui est du strontium-90, on pense qu'aussi bien la lixiviation que des sources souterraines sont à l'origine des concentrations relevées. Bien que l'on ait observé, par le passé, des écarts considérables entre les données relatives au strontium-90, il n'est pas exclu que les concentrations de ce radionucléide puissent dépasser (de deux fois au maximum) les niveaux actuels pendant quelques décennies.

Dans le cas du césium-137, sa libération actuelle en provenance de sources souterraines est légèrement liée à la lixiviation des sédiments. Ses concentrations dans les lagons diminuent après une période apparente d'environ sept ans et il est peu probable qu'elles dépasseront, à l'avenir, les niveaux actuels.

S'agissant du plutonium, la lixiviation des sédiments des lagons en est actuellement la seule source importante. Compte tenu des observations, on estime que les concentrations de plutonium dans les lagons diminueront après une période effective d'environ dix ans.

À partir des mesures effectuées, le Groupe de modélisation du milieu marin a estimé la vitesse de libération actuelle de ces radionucléides dans les lagons et dans l'océan et a effectué des prévisions pour l'avenir. On n'a pas tenté de distinguer Mururoa de Fangataufa car, à l'échelle de l'océan, ces atolls sont extrêmement proches l'un de l'autre. Les libérations par les lagons sont considérées être des libérations de surface; les

libérations directes dans l'océan sont supposées se produire à une profondeur de 400 mètres.

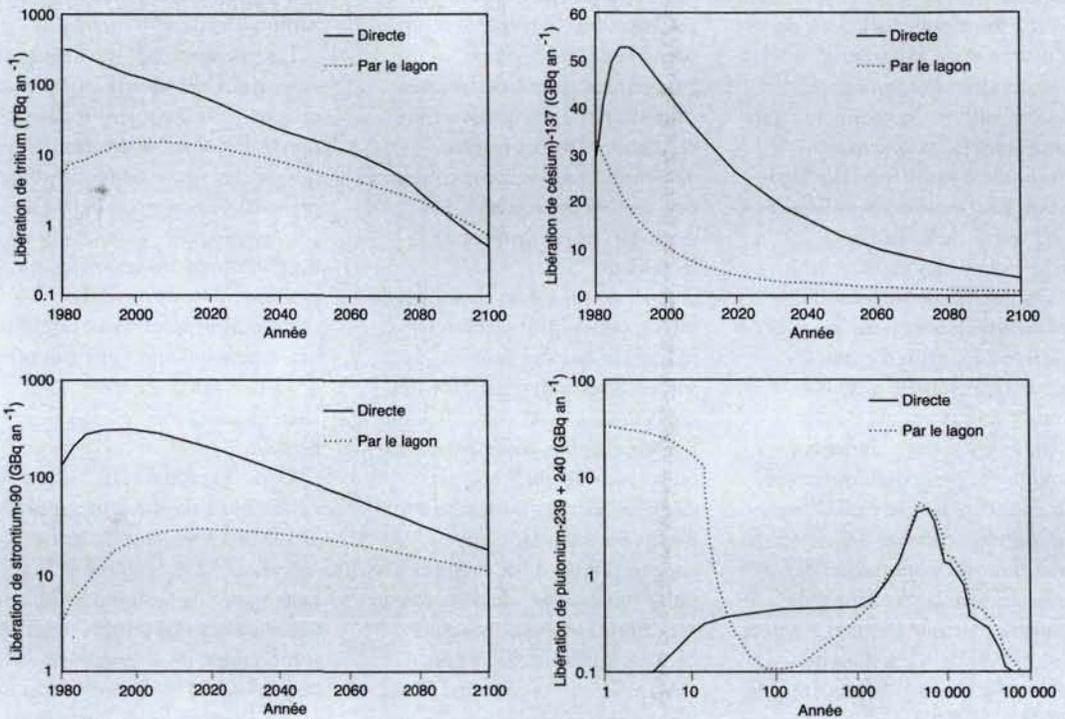
Les vitesses totales de libération du tritium, du strontium-90 et du césium-137 diminueront dans le temps, la contribution dominante des sources souterraines provenant de libérations directes dans l'océan (voir graphiques). Pour ce qui est du plutonium, en revanche, qui migrera très lentement, la contribution souterraine atteindra son maximum après environ 6000 ans à une valeur de crête nettement inférieure à la valeur actuelle.

Dans l'éventualité de l'événement destructeur supposé, à savoir un glissement de roche carbonatée avec libération instantanée de radionucléides dans le milieu marin à partir de sources souterraines, on a estimé les libérations à 1PBq pour le tritium, à 30 TBq pour le césium-137, à 10 TBq pour le strontium-90 et à 10 TBq pour le plutonium-239 et 240.

MODÈLES RÉGIONAUX DE DISPERSION

Trois modèles à compartiments ont été mis au point pour étudier la dispersion des radionucléides à l'échelon régional. Ces modèles couvraient des atolls voisins tels que l'atoll de Tureia et d'autres aussi éloignés que Tahiti, et avaient pour objet d'étudier la dispersion à long terme. Les trois modèles différaient par leur résolution spatiale, par la mesure dans laquelle la structure verticale de l'océan était prise en compte et par la durée pendant laquelle il convenait de suivre la dispersion. Les modèles ont été appliqués à des sources "permanentes" provenant des migrations dans la géosphère et variant en force dans le temps, ainsi qu'à des libérations "instantanées" se produisant lorsqu'une partie importante de la

VITESSES DE LIBÉRATION DES RADIONUCLÉIDES À MURUROA ET FANGATAUFA



Les graphiques indiquent les vitesses prévisionnelles de libération dépendante du temps du tritium, du strontium-90, du césium-137 et du plutonium-239, 240 dans la biosphère.

source se libère sur une période de temps relativement courte d'un an environ. Les deux scénarios pourraient réellement se produire suite à des événements destructeurs.

Plusieurs événements destructeurs hypothétiques ont été envisagés, notamment des événements extrêmes et des événements dus à des changements climatiques susceptibles d'entraîner une augmentation des vitesses de libération de matières radioactives actuellement emprisonnées dans les cavités-cheminées ou une augmentation des taux d'exposition aux matières présentes dans l'environnement (au plutonium présent dans les sédiments, par exemple). On a notamment étudié une glaciation entraînant une baisse du niveau de la mer et l'exposition du lit du

lagon; et un glissement de roche carbonatée entraînant une libération "instantanée" des radionucléides ainsi exposés.

Le seul événement destructeur dont on a estimé qu'il justifiait une évaluation approfondie a été la rupture et le glissement hypothétiques des formations carbonatées situées dans la zone septentrionale de l'atoll de Mururoa; il s'agit de la zone où ont été effectués des essais de sûreté souterrains et quelques essais nucléaires ayant produit des cavités-cheminées pénétrant les formations carbonatées.

La modélisation compartimentée de la dispersion régionale a permis d'estimer les concentrations dans les eaux de surfaces de différentes îles du Pacifique sur différentes durées pour les libérations prévues à partir de Mururoa et de

Fangataufa et pour les libérations instantanées. Les concentrations prévues sur les atolls de Polynésie française se sont révélées inférieures aux concentrations actuelles dues aux retombées mondiales observées dans l'océan.

Seule la libération de plutonium en cas d'événement destructeur (glissement de roche) donne, sur l'atoll le plus proche (Tureia), une concentration supérieure (d'environ deux fois) aux niveaux actuels dus aux retombées mondiales. Après dix ans, cependant, les concentrations prévues seront inférieures aux concentrations de fond actuelles.

MODÉLISATION DU CHAMP LOINTAIN

Un modèle général de circulation dans le champ lointain a été utilisé pour estimer les concentrations, dans l'océan, de

radionucléides libérés à partir des atolls, puis transportés et dispersés jusque sur la côte orientale de l'Australie et la côte occidentale de l'Amérique du Sud. Le modèle a été appliqué à des sources permanentes et instantanées et à des cas dans lesquels la libération se produit soit dans la couche de surface, soit à 400 mètres de profondeur, au dessous de la couche de saut. Dans ce dernier scénario, la matière libérée est piégée sous la couche de saut et toute dispersion est bloquée; des concentrations supérieures seront observées à plus grande distance des points de libération, mais à des profondeurs d'environ 400 mètres.

Ce n'est que dans le cas d'un événement destructeur hypothétique – glissement de roche, libération à 400 mètres de profondeur – que les concentrations de surface de tritium, de strontium-90 et de césium-137 au niveau de l'atoll de Tureia atteignent les niveaux actuels observés dans l'océan Pacifique Sud du fait des retombées mondiales.

Pour le tritium, par exemple, l'élévation maximale de la concentration prévue est d'environ 10 Bq/m³ après cinq ans à mi-chemin de l'Australie et d'environ 1 Bq/m³ au large la côte de l'Australie cinq ans plus tard, alors que le niveau naturel de tritium est de 50 à 100 Bq/m³ à 400 mètres de profondeur. La libération du plutonium se traduirait dans l'océan, au niveau de l'atoll de Tureia, par une concentration de 100 mBq/m³. C'est environ le double de la concentration actuelle, très faible (environ 1 mBq/m³), relevée à cet endroit du fait des retombées mondiales liées à l'ensemble des essais nucléaires atmosphériques. Les concentrations de plutonium dans l'océan, au niveau de Tureia,

reviendraient à la normale en dix ans.

Dans le cas, plus réaliste, d'une libération de radionucléides dépendant du temps, les concentrations prévues de radionucléides à long terme seront inférieures aux niveaux océaniques naturels au delà de 100 kilomètres des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

Pour le plutonium, par exemple, dans le cas d'une libération de surface, les concentrations de surface maximales prévues, après dix ans de libération, seraient d'environ 0,2 mBq/m³ à proximité de Mururoa. Ce chiffre est légèrement inférieur aux niveaux actuels.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

En résumé, la modélisation du milieu marin a permis de tirer les conclusions suivantes:

- Le temps estimatif de rotation des eaux des lagons est de 98±37 jours pour Mururoa et de 33±12 jours pour Fangataufa.
- Le transfert de plutonium-239 et 240 sous forme de particules (liées aux sédiments) entre le lagon de Mururoa et l'océan Pacifique est estimé à 8 GBq par an avec des vents et des marées de force moyenne et à 0,7 TBq en cas de tempête extrême (par tempête). On estime qu'une tempête extrême se produit une fois tous les dix ans. Le terme source dû aux tempêtes est supposé diminuer dans le temps en raison de la raréfaction des sédiments contenant du plutonium et de l'enterrement progressif de ces sédiments. Le terme source dû au plutonium en cas de tempête est légèrement inférieur à celui libéré par l'événement destructeur hypothétique.
- Deux principaux scénarios de libération ont été modélisés: 1) un événement destructeur – glissement de roche carbonatée libérant, en provenance de la zone

carbonatée, une activité correspondant à l'inventaire d'un essai de sûreté et d'un essai en cavité-cheminée; 2) une source dépendant du temps provenant de la migration de matières émanant des cavités souterraines et de la lixiviation des sédiments du lagon.

Dans la plupart des simulations, on a supposé une libération dans les couches de surface. Pour certains calculs, cependant, on est parti de l'hypothèse que la source était située en profondeur (à 400 mètres), afin de simuler une libération à partir des couches karstiques.

Pour ces scénarios, on a estimé l'élévation maximale des concentrations dans les lagons et au niveau des îles et atolls du Pacifique Sud. On a comparé les concentrations prévues au niveau de l'atoll habité le plus proche (Tureia) aux concentrations naturelles relevées dans l'océan du fait des retombées mondiales. Seule la libération de plutonium en cas d'événement destructeur donnerait une concentration supérieure au niveau naturel, et ce pendant quelques années seulement.

En ce qui concerne les libérations en profondeur, on prévoit, au niveau de Hao et de Tahiti, des concentrations plus élevées qu'à Tureia. Lorsque, cependant, on effectue une moyenne des données correspondant à ces endroits sur la profondeur totale de 450 mètres, elles sont toutes inférieures aux valeurs maximales.

Dans l'ensemble, la modélisation de la dispersion des radionucléides à partir des atolls de Mururoa et de Fangataufa dans l'océan a donné des résultats patents. Les travaux ont montré que les concentrations escomptées au niveau des îles habitées voisines ne seraient pas assez élevées pour avoir une quelconque incidence radiologique. □

ÉVALUATION DES DOSES DE RAYONNEMENT ATTRIBUÉES AUX MATIÈRES RADIOACTIVES RÉSIDUELLES DOSES POTENTIELLES EMISES AU NIVEAU DES ATOLLS

GORDON LINSLEY ET ANDREW MCEWAN

Par le passé, l'atoll de Mururoa n'a été qu'occasionnellement peuplé, et il n'existe aucune preuve que Fangataufa ait jamais été habité. L'absence d'approvisionnement en eau et la vulnérabilité des atolls à la mer y rendent toute vie difficile.

Toutefois, aux fins de l'étude internationale de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa, on a supposé l'existence d'une population hypothétique résidant sur Mururoa afin de déterminer les doses potentielles de rayonnement. Il était également nécessaire d'estimer les doses reçues par des communautés plus distantes pour déterminer l'incidence de toute libération de matières radioactives.

L'évaluation prend en compte la dispersion des radionucléides provenant des essais tant souterrains qu'atmosphériques et les libérations accélérées de matières dues à des événements destructeurs d'origine naturelle ou humaine tels que des glissements de terrain ou à des changements climatiques.

L'évaluation a porté sur les doses de rayonnement actuelles et futures imputables aux résidus présents sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa. Les doses reçues par le passé du fait des retombées liées aux essais atmosphériques français n'ont pas été évaluées par l'étude, bien qu'une estimation de ces doses dans la région ait été

donnée par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) (voir encadré page suivante).

CATÉGORIES D'EXPOSITION

On a estimé les débits de dose dus à l'exposition aux radionucléides résiduels provenant des essais nucléaires français pour des groupes critiques d'individus, dans les conditions tant actuelles que futures. Des estimations ont été faites pour les catégories de groupes suivantes:

■ exposition actuelle d'habitants hypothétiques des atolls de Mururoa et Fangataufa;

■ exposition actuelle des habitants de l'atoll de Tureia, l'atoll habité le plus proche;

■ exposition future des habitants de la région et des habitants des atolls de Mururoa et de Fangataufa du fait des matières radioactives résiduelles présentes actuellement dans l'environnement et de la partie des matières radioactives présentes dans le sous-sol qui migrera, à l'avenir, vers l'environnement accessible;

■ exposition potentielle des habitants de la région et d'habitants hypothétiques des atolls de Mururoa et de Fangataufa du fait d'événements destructeurs postulés.

Voies d'exposition. On a estimé que les doses reçues l'étaient principalement par ingestion. Des

modes d'alimentation réalistes ont été utilisés pour des populations telles celles vivant sur l'atoll de Tureia, l'atoll habité le plus proche, et pour des habitants hypothétiques des atolls de Mururoa et de Fangataufa. Pour les populations hypothétiques des autres endroits, on a supposé des taux de consommation élevés, en particulier d'aliments marins, pour être certains d'obtenir une estimation limite supérieure des débits de dose.

Chaque fois que possible, les concentrations de radionucléides présents dans les aliments ont été obtenues par mesure directe. Lorsque cela n'était pas possible, pour les populations hypothétiques, par exemple, on a procédé à des estimations.

DOSES PRÉSENTES ACTUELLEMENT SUR LES ATOLLS

Une population résidant en permanence sur les atolls et se nourrissant de produits et d'aliments marins locaux provenant des lagons recevrait généralement une dose de

M. Linsley est chef de la Section de la sûreté des déchets à la Division de la radioprotection et de la sûreté des déchets de l'AIEA. M. McEwan, Directeur du National Radiation Laboratory de Nouvelle-Zélande, a présidé l'Équipe spéciale A dans le cadre de l'Étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

rayonnement attribuable aux matières radioactives résiduelles qui ne serait pas supérieure à 0,01 mSv par an. Cela équivaut à une infime fraction (moins d'un sur 200) de la dose totale qu'une telle population résidente recevrait inévitablement des sources de rayonnement naturelles (*voir tableau et encadré page suivante*).

Les estimations de doses se fondent sur les niveaux de radionucléides d'origine humaine mesurés dans l'environnement des atolls, niveaux qui englobent la contribution des retombées mondiales (c'est-à-dire des retombées provenant de l'ensemble des essais nucléaires atmosphériques). Sauf dans le cas des aliments marins, il n'est pas possible de déterminer cette contribution dans les niveaux mesurés dans l'environnement, ni donc la fraction des doses estimées imputable aux retombées mondiales.

On estime que la dose annuelle moyenne actuelle dans l'ensemble de la bande de latitude de 20° à 30° sud de l'atoll de Mururoa imputable aux retombées mondiales est comprise entre 0,002 et 0,003 mSv.

DOSES PRÉSENTES ACTUELLEMENT DANS L'OCEAN PACIFIQUE SUD

Les doses annuelles reçues actuellement par les habitants d'autres îles du Pacifique sud du fait des matières radioactives résiduelles présentes dans l'environnement accessible ont également été estimées. On recense quelque 5000 personnes vivant dans un rayon de 1000 kilomètres autour de Mururoa. On a estimé que seules des doses négligeables (inférieures à 0,0001 mSv par an) sont reçues par les habitants de l'atoll de Tureia, la terre habitée la plus proche des atolls de Mururoa et de Fangataufa (située à environ 130

DOSES DE RAYONNEMENT PASSÉES PROVENANT DES RETOMBÉES

Au moment des essais atmosphériques français, entre 1966 et 1974, quelque 5000 personnes vivaient dans un rayon de 1000 kilomètres autour du site d'essais français, et des expositions locales se sont produites, pour cinq essais en particulier (*voir tableau*) en raison de vents et de précipitations inhabituels. Quatre essais ont entraîné des doses efficaces de 1 à 5 mSv reçues par les habitants de Tureia (l'atoll habité le plus proche, situé à une distance de 130 kilomètres au nord de Mururoa) et des Îles Gambier (situées à 400 kilomètres au sud-est de Mururoa) entre 1966 et 1971. Un essai a entraîné des doses atteignant 0,8 mSv chez les habitants de Tahiti (1200 kilomètres au nord-ouest) en 1974. Seuls quelques individus, sur ces îles, auraient reçu les doses estimatives maximales indiquées dans le tableau ci-dessous. À Tahiti, par exemple, la plupart des habitants auraient subi une exposition externe seulement. On a estimé qu'il s'était produit quelques expositions internes sur les autres îles du fait de l'ingestion de légumes verts ou de mollusques des lagons.

À l'époque, les expositions ont été largement imputables aux retombées de radionucléides à courte période, peut-être d'iode radioactive (en particulier d'iode-131 ayant une période de huit jours). Les concentrations d'iode-131 dans le lait ont été mesurées en plusieurs endroits de l'hémisphère sud lors des essais atmosphériques effectués sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa. On estime que les équivalents de dose à la thyroïde reçus par les habitants du fait des essais nucléaires sur les deux atolls n'ont pas dépassé 10 mSv sur l'ensemble de la période des essais atmosphériques (1966-1974).

DOSES PASSÉES POUR LES INDIVIDUS LES PLUS EXPOSÉS

Date de l'essai	Lieu de l'exposition	Dose efficace annuelle (mSv)			Total
		Externe	Inhalation	Ingestion	
2 juillet 1966	Îles Gambier	3,4	0,18	1,9	5,5
2 juillet 1967	Atoll de Tureia	0,7	0,023	0,17	0,9
12 juin 1971	Atoll de Tureia	0,9	0,003	0,43	1,3
8 août 1971	Îles Gambier	0,9	0,002	0,24	1,2
17 juillet 1974	Tahiti (Mahina)	0,6	0,08	0,06	0,8

kilomètres de Mururoa, avec une population d'environ 120 personnes), du fait des radionucléides provenant de Mururoa et de Fangataufa.

L'atoll de Tureia a effectivement reçu, cependant, des retombées lors des essais nucléaires atmosphériques effectués sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa, en sus des retombées mondiales. Les doses de rayonnement reçues par ses habitants du fait de l'ensemble des retombées antérieures ont été estimées à environ 0,005 mSv par an. Ici encore, la fraction de cette

dose imputable aux retombées des seuls essais effectués sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa est indéterminée, car les estimations de doses se fondent sur les niveaux de radionucléides totaux d'origine humaine mesurés dans l'environnement de l'atoll de Tureia, niveaux qui englobent une certaine contribution des retombées mondiales. La dose de 0,005 mSv par an est très faible, comparée aux doses totales que les habitants de Tureia reçoivent des sources naturelles de rayonnement, et elle est analogue à celle calculée pour la population

DOSES ACTUELLES REÇUES PAR LES HABITANTS ADULTES DU FAIT DES MATIÈRES RADIOACTIVES RÉSIDUELLES ET DES RETOMBÉES MONDIALES

Voie	Dose annuelle <small>(estimations hypothétiques sur le site Anémone / Atoll de Mururoa)</small> (mSv)	Dose annuelle sur l'atoll de Tureia (mSv)
Irradiation externe	~0,0011	<0,001
Inhalation	<0,0001	—
Ingestion: aliments terrestres	0,0009 ^a	0,004 ^a
Ingestion: aliments marins	0,0043 ^b	0,00001 ^b
Total	~0,006	~0,005

^aUne partie indéterminée de cette dose provient des retombées mondiales.

^bLa contribution des retombées mondiales à la dose de 0,0004 mSv correspondant à l'ingestion aquatique n'est pas incluse dans cette estimation.

hypothétique de l'atoll de Mururoa.

On notera qu'il existe des écarts entre les doses reçues par les différentes voies d'exposition sur l'atoll de Tureia et sur celui de Mururoa. Sur l'atoll de Tureia, la consommation d'aliments marins est importante, mais l'exposition par cette voie est insignifiante car il n'existe dans les sédiments du lagon pratiquement aucune matière radioactive imputable aux retombées. La consommation d'aliments terrestres est le principal facteur d'exposition en raison du dépôt plus important, à Tureia, de césium-137 provenant des essais nucléaires atmosphériques effectués à ce moment là que sur l'atoll de Mururoa. Sur l'atoll de Mururoa, où l'on trouve du plutonium dans les sédiments du lagon, la consommation d'aliments marins est la principale voie d'exposition.

Les doses reçues par les individus consommant des aliments marins provenant de zones de pêche du Pacifique plus éloignées ont également été estimées. Les débits de dose sont, dans tous les cas, nettement inférieurs même aux débits de dose calculés pour les atolls de Mururoa et de Fangataufa. Les doses annuelles reçues actuellement par les grands

COMPARAISON DES DOSES DE RAYONNEMENT

Source la dose	Dose <small>(mSv par an)</small>
Doses de fond naturelles mondiales	1 à 10
■ Plage type	~ 100
■ Maximum	2,4
■ Moyenne	
Atolls de Mururoa et de Fangataufa	
■ Dose due aux rayonnements de fond naturels	1,4 à 3
Doses additionnelles estimatives actuelles provenant des matières radioactives résiduelles présentes sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa	
■ Maximum sur l'atoll de Tureia	<0,0001
■ Moyenne sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa	<0,01
■ Maximum dans la région Kilo-Empereur de l'atoll de Fangataufa	~0,25
Dose additionnelle maximale sur l'atoll de Tureia suite à un glissement de roche sur l'atoll de Mururoa	0,007 (première année)

consommateurs d'aliments marins provenant de zones avoisinant l'Australie et la Nouvelle-Zélande et par les individus consommant des quantités analogues d'aliments marins provenant de zones avoisinant l'Amérique latine sont toutes négligeables; les doses typiques sont nettement inférieures aux doses moyennes imputables aux rayonnements naturels.

SITUATIONS PARTICULIÈRES

L'étude a également examiné quatre situations particulières

prévalant à Mururoa et à Fangataufa.

■ **Plutonium présent dans les lagons.** L'inventaire de plutonium dans les sédiments des deux lagons est relativement important: quelque cinq kilogrammes sur l'atoll de Mururoa et trois kilogrammes sur l'atoll de Fangataufa. Ce plutonium, cependant, n'émettra que de très faibles doses en raison de sa faible vitesse de transfert par des voies physiques vers l'homme. L'inventaire de plutonium diminue également en raison de l'élimination, dans le temps, des

sédiments des lagons vers l'océan ainsi que de leur enterrement et de leur dilution par l'accumulation de sédiments nouveaux.

■ **Tritium présent dans les lagons.** La concentration de tritium dans les lagons est actuellement environ dix fois supérieure aux niveaux très faibles relevés au large de l'océan (de l'ordre de 1000 Bq/m^3 , respectivement) en raison des radionucléides provenant de sources souterraines. Le tritium, cependant, est l'un des radionucléides les moins radiotoxiques. Il faudrait boire en permanence de l'eau douce contenant $1,6 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$ pour recevoir une dose de 2,4 mSv par an, dose annuelle reçue en moyenne à partir des sources de rayonnement naturelles. Les doses de rayonnement qui résulteraient du tritium présent dans les lagons sont donc négligeables.

■ **Exposition potentielle due aux matières sous forme de particules contenant du plutonium.** Les essais de sûreté atmosphériques effectués sur les motus de Colette, d'Ariel et de Vesta sur l'atoll de Mururoa ont entraîné la dispersion de plutonium (ainsi que de petites quantités d'américium). On a observé que l'activité surfacique générale du plutonium résiduel dans la région était peut-être trois fois supérieure au critère français de 10^6 Bq/m^2 applicable aux opérations de nettoyage, fixé pour limiter l'exposition potentielle par inhalation de coraux finement fractionnés contenant du plutonium. Ce niveau accru d'activité surfacique générale n'entraînerait, cependant, que de faibles doses, par exemple moins de 0,001 mSv par an chez des individus tels que des pêcheurs qui passeraient 120 heures par an dans la région.

Une partie des matières radioactives dispersées se présente, cependant, sous la forme de

particules discrètes dont la taille varie de 0,1 millimètre à peut-être 1 millimètre. Des particules de plutonium ont été trouvées dans des échantillons de sable, de corail et d'assise rocheuse prélevés sur Colette et dans du sable provenant d'un banc du lagon adjacent à Colette.

Ces particules constituent une autre voie d'exposition potentielle dans la région de Colette. Si un individu devait se rendre sur le motu de Colette ou sur les motus plus petits d'Ariel et de Vesta (qui se situent sur une partie éloignée de la ceinture de l'atoll et sortent à peine de la mer), il existe un risque, même très limité, qu'une telle particule pénètre dans l'organisme par une coupure et y demeure. L'exposition consécutive persisterait à moins que la particule ne soit éliminée (naturellement ou par intervention humaine) et une dose de rayonnement importante risquerait de s'accumuler. L'hypothèse est la suivante: tant que la particule demeurerait dans l'organisme, elle constituerait une source permanente de plutonium; ce dernier se dissoudrait lentement dans les fluides corporels et migrerait vers des organes et tissus critiques (en particulier les os), qui seraient irradiés en permanence.

Les informations obtenues grâce à l'examen des particules prélevées dans le cadre de l'étude se sont révélées suffisantes pour pouvoir estimer le risque radiologique global. On a utilisé les résultats d'études expérimentales portant sur l'incorporation de particules actives analogues provenant du site d'essais nucléaires de Maralinga (Australie). Pour une particule d'oxyde de plutonium retenue, la dose efficace potentielle estimative reçue par un adulte pourrait varier entre 9×10^{-8} et $9 \times 10^{-6} \text{ Sv/Bq}$.

Si l'une des particules les plus actives de plutonium, d'environ

100 000 Bq, était retenue dans l'organisme, il pourrait en résulter des doses pouvant atteindre, sur la durée d'une vie, environ 1000 mSv. C'est environ dix fois la dose moyenne accumulée en 50 ans à partir des sources de rayonnement naturelles. La dose sur la durée de vie dépendrait de l'âge de l'individu et de la solubilité de la particule dans les fluides corporels. Chez un enfant, la dose sur la durée de vie pourrait être jusqu'à deux fois supérieure. Étant donné la nature prolongée (chronique) de l'exposition, il est peu probable qu'un effet apparent immédiat sur la santé, mis à part la production d'un petit nodule de tissu mort autour de la particule, se fasse sentir suite à une telle ingestion, même en présence de particules très actives.

Le risque pour qu'une telle exposition se produise a cependant été jugé infime. La probabilité qu'un individu vivant à Mururoa développe un cancer fatal de cette manière est estimée inférieure à un sur un million par an.

■ **Doses reçues par un groupe critique hypothétique à Fangataufa.** Il ressort de l'étude que les doses les plus élevées qui pourraient être reçues du fait des résidus provenant des essais nucléaires français seraient des doses reçues par un groupe hypothétique et très restreint de personnes consommant uniquement des produits locaux provenant d'une zone très limitée de la région Kilo-Empereur de l'atoll de Fangataufa. Cette région est au vent du site où un essai atmosphérique sur barge de 125 kilotonnes a été effectué le 24 septembre 1966. L'essai sur barge a laissé, sur trois kilomètres de la ceinture de l'atoll, une bande étroite de terre présentant des niveaux élevés de césium-137 et, dans le sol, d'autres radionucléides dont la répartition est certes très irrégulière. L'exposition interviendrait essentiellement par

la consommation supposée de noix de coco et d'autres produits contenant du césium-137, tous cultivés dans des zones de la bande de terre où les concentrations de ce radionucléide sont très élevées. Le débit de dose efficace qui s'ensuivrait serait inférieur à 0,25 mSv par an. Cela équivaut à environ 10% de la dose annuelle de rayonnement qu'une telle population résidente recevrait inévitablement des seules sources naturelles. Ce scénario hypothétique est cependant jugé hautement improbable dans la pratique, car l'atoll de Fangataufa est pratiquement inhabitable par des individus adoptant un mode de semi-subsistance traditionnel; l'atoll est parfois inondé par l'eau de mer et ne dispose pas d'eau douce ni d'autres cultures comestibles que quelques noix de coco.

DOSES ESTIMATIVES FUTURES

Trois cas ont été étudiés pour estimer les doses qui seront reçues par les populations à l'avenir.

■ Doses reçues à l'avenir du fait des matières radioactives résiduelles présentes actuellement dans l'environnement accessible.

Les doses de rayonnement annuelles estimatives reçues par tout futur habitant de Mururoa et de Fangataufa du fait de la dispersion générale dans l'environnement des radionucléides provenant des essais nucléaires sont toutes faibles en termes absolus et insignifiantes par rapport aux critères existants. Les doses de rayonnement imputables aux matières radioactives déjà présentes dans l'environnement accessible – liées principalement au césium-137 et au plutonium-239 et 240 – persisteront. Toutefois, elles diminueront en raison de la désintégration radioactive et d'autres processus qui réduisent

l'inventaire de ces radionucléides dans l'environnement.

D'après les prévisions de l'étude, le taux de lixiviation du césium-137, du strontium-90 et du plutonium-239 et 240 dans les sédiments des lagons, qui explique les concentrations actuelles de ces radionucléides dans l'eau des lagons, continuera de décroître dans le temps, de même que les doses de rayonnement estimatives liées à ces radionucléides. Les futures doses hypothétiques estimatives imputables aux sources existant à Mururoa si les atolls étaient réellement habités diminuerait dans un premier temps pendant 100 ans, pour passer du maximum actuel de 0,01 mSv par an à environ 0,001 mSv par an, à mesure que les matières radioactives résiduelles surfaciques se décomposent et se dispersent (on notera que ces doses augmenteront dans un avenir lointain lorsque le plutonium migrant du sous-sol atteindra les lagons; elles ne dépasseront cependant jamais les doses actuelles).

■ Exposition potentielle due aux radionucléides souterrains.

L'évaluation des futures libérations probables dues à la migration des radionucléides en provenance de sources souterraines montre que les libérations de césium-137 et de strontium-90 vers le lagon diminueront dans le temps mais qu'après une diminution initiale, la vitesse de libération du plutonium augmentera pour plafonner après 5000 à 6000 ans. Cependant, même à ce moment là, les doses estimatives reçues par les habitants hypothétiques de Mururoa seraient inférieures aux doses estimatives reçues aujourd'hui par les mêmes habitants hypothétiques, soit moins de 0,01 mSv par an. De même, on prévoit que les expositions en d'autres endroits du Pacifique sud liées aux libérations de radioactivité souterraine à

Mururoa et à Fangataufa seront à l'avenir inférieures aux concentrations très faibles de radionucléides actuellement présentes dans l'environnement accessible.

■ Exposition potentielle des habitants de la région suite à des événements destructeurs postulés.

On a étudié les conséquences radiologiques d'événements destructeurs postulés, notamment d'une glaciation et d'un glissement de roche carbonatée entraînant une libération de radionucléides dans l'océan. Dans le cas d'un glissement de roche, les doses annuelles hypothétiques les plus élevées seraient reçues par les résidents des atolls voisins, car les radionucléides ainsi libérés seraient transportés par les courants océaniques. Pour les habitants de l'atoll de Tureia, la dose reçue pendant la première année suivant un glissement de roche ne dépasserait pas quelques millièmes de millisievert, même si l'on assumait, en étant pessimiste, que tout le plutonium libéré par le glissement se mélangeait à l'eau. Cette dose ne serait reçue que l'année suivant le glissement de roche; les doses ultérieures diminueraient progressivement à mesure que les matières radioactives se disperseraient.

CONCLUSION

Globalement, les participants à l'étude ont analysé les doses de rayonnement potentielles reçues par des groupes actuels et futurs de population des atolls. Ils ont observé qu'à l'exception du cas hypothétique de la ceinture Kilo-Empereur de Fangataufa, aucun groupe ne risque de recevoir, à quelque moment que ce soit, une dose imputable aux matières radioactives résiduelles dépassant d'environ 1% la dose de rayonnement que ce groupe recevrait inévitablement de sources naturelles. □

ÉTUDE DES RETOMBÉES DES ESSAIS NUCLÉAIRES GUERRE FROIDE - CHAUDES PARTICULES

PIER ROBERTO DANESI

Au début du siècle prochain, plus de 2000 essais nucléaires de différentes puissances et de différents types auront été enregistrés. Presque tous ont été effectués pendant la période de la guerre froide, qui s'est terminée dans les années 90.

Les essais nucléaires atmosphériques ont dispersé des résidus radioactifs dans l'environnement. Ils se répartissent, en fonction de l'essai, du lieu et du rendement, entre la surface terrestre (ou marine) locale et les régions troposphériques et stratosphériques. Les précipitations ultérieures, transportant les résidus, produisent des retombées aussi bien locales que mondiales. Les concentrations de certains radionucléides peuvent entraîner la formation de particules radioactives – morceaux infimes de matières contenant des éléments chimiques radioactifs.

Les retombées locales comprennent des aérosols radioactifs de grande taille, particules qui se déposent généralement dans un rayon de 100 kilomètres environ autour du site d'essai. La contamination radioactive locale au niveau des sites d'essais nucléaires est également attribuée aux essais de sûreté d'engin nucléaires qui ont souvent dispersé des matières fissiles. Ces matières sont libérées sous différentes formes: vapeur de plutonium, aérosols de plutonium de différentes tailles, particules d'oxyde de plutonium, particules revêtues de plutonium et morceaux relativement importants de structures contaminées par le plutonium détruites par l'explosion.

Les retombées mondiales englobent les retombées aussi bien troposphériques que stratosphériques. Les premières consistent en aérosols qui ne traversent pas la tropopause et se déposent pour un temps de séjour moyen pouvant atteindre 30 jours. Pendant ce temps, les résidus se dispersent dans la bande d'injection en latitude suivant des trajectoires régies par la direction des vents. Les retombées stratosphériques consistent en particules qui donnent ultérieurement lieu à d'importantes retombées mondiales se produisant pour l'essentiel dans l'hémisphère où l'essai nucléaire a été effectué. Elles représentent la majeure partie des résidus de produits de fission à longue période.

Les retombées nucléaires entraînent une exposition des individus à la radioactivité par irradiation interne (due à l'inhalation de matières radioactives présentes dans l'air ou à l'ingestion d'aliments contaminés) et externe (par les matières radioactives présentes dans l'air de surface ou déposées sur le sol). D'importantes études ont été menées dans ces domaines.

Dans le cas des essais nucléaires, l'évaluation de la nature de l'événement primaire comprend généralement l'analyse des matières radioactives déposées sur le sol. Ces

Photos: Repère sur l'ancien site d'essais nucléaires de Maralinga, en Australie méridionale. Sur le site de Mururoa, en Polynésie française, une équipe de l'AIEA a prélevé des échantillons de sol en vue de l'analyse des particules radioactives. (Photo: Danesi/AIEA)



études posent cependant un problème, car la composition des radionucléides peut considérablement changer entre le moment de la détonation nucléaire et le moment où les échantillons sont prélevés aux fins de l'analyse radiochimique. Un processus dit "de fractionnement" fait que les échantillons de résidus radioactifs ne sont pas représentatifs des produits de détonation.

Le fractionnement commence par la condensation de matières radioactives et inertes provenant de la boule de feu. Le mélange peut commencer, sous l'influence du vent, de la gravité et de la turbulence du nuage atomique, à se séparer alors que la condensation n'est pas terminée. La séparation du condensat se poursuit sous différentes formes, notamment par contact des résidus avec des matières inertes.

M. Danesi est directeur des laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf, non loin du Siège de l'Agence à Vienne (Autriche).

Lorsque le nuage atomique se forme, les processus de refroidissement, de condensation, de coagulation, de mélange et de séparation interviennent simultanément, mais à des degrés différents dans différentes parties du nuage. De plus, les produits radioactifs initiaux changent de composition élémentaire du fait de la désintégration radioactive.

Particules radioactives. Il est nécessaire d'avoir une connaissance scientifique des phénomènes de fractionnement si l'on veut interpréter les retombées mondiales et la chimie nucléaire du processus de détonation. Cette connaissance est également utile pour évaluer les risques de contamination et d'ingestion.

Les variations de taille et de type des particules s'accompagnent de variations de leur composition chimique en fonction des schémas de fractionnement. La nature et les concentrations de radionucléides, ainsi que la taille et la forme des particules, déterminent leur tour de risque d'inhalation ou d'ingestion.

D'autres informations scientifiques importantes ont trait à la forme chimique sous laquelle les radionucléides sont présents dans les particules. Les radionucléides présents dans les particules radioactives sont en général relativement inertes comparés aux ions, aux atomes et aux espèces à faible masse moléculaire, qui sont plus mobiles et libres.

Pour pouvoir évaluer les conséquences à court et à long termes des retombées atmosphériques et, en particulier, la fuite des radionucléides à partir des particules radioactives, il est indispensable de disposer d'informations physico-chimiques précises sur ce terme source. Habituellement, les informations sur les sources termes se cantonnent à l'inventaire estimatif, au niveau d'activité ou à l'activité volumique des radionucléides déposés. Les

informations sur leur forme physico-chimique sont rares.

Une fois déposées, les particules sont soumises aux intempéries et les radionucléides qu'elles contiennent se mobilisent dans le temps. La composition des particules, l'éventuelle modification de leur structure et les caractéristiques chimiques du site de dépôt influencent la vitesse d'altération par les intempéries. De surcroît, les radionucléides mobilisés peuvent également interagir avec le sol et les sédiments.

La plupart des modèles utilisés pour évaluer le transfert et les conséquences de la contamination par les radionucléides partent de l'hypothèse que les radionucléides sont présents sous forme ionique ou sous la forme d'espèces à faible masse moléculaire. Il s'ensuit souvent une surestimation des conséquences à court terme de la contamination radiologique.

En revanche, si les particules sont relativement inertes, comme c'est souvent le cas, le transfert des radionucléides est retardé jusqu'à ce que des intempéries surviennent. De ce fait, les conséquences à long terme de la contamination radiologique peuvent être sous-estimées.

Il est donc clair que si l'on ne tient pas compte du rôle des particules radioactives, les prévisions par modélisation peuvent pâtir de grandes incertitudes.

La présence de particules radioactives peut également invalider certaines hypothèses adoptées pour évaluer la contamination du sol et des sédiments. Cela vaut notamment pour l'hypothèse fréquemment utilisée selon laquelle on peut légitimement fixer comme échelle, pour l'activité surfacique ou volumique, des unités de différentes grandeurs (par exemple Bq/cm^2 , Bq/m^2 ou Bq/km^2 et vice versa).

Les exemples suivants illustrent certaines méthodes utilisées pour

étudier les particules radioactives sur les sites d'essais nucléaires.

ÉTUDES RÉALISÉES EN AUSTRALIE MÉRIDIIONALE

De 1953 à 1963, le Royaume-Uni a mis en œuvre un programme d'essais d'armes nucléaires à Maralinga et à Emu en Australie méridionale. Sur ces sites, aujourd'hui complètement réhabilités, on a procédé à neuf explosions nucléaires et à plusieurs centaines d'essais de moindre ampleur.

Tandis que les explosions importantes ont eu un rendement compris entre une et 27 kilotonnes, les essais de moindre ampleur n'ont consisté qu'à brûler et à disperser par explosion de l'uranium, du plutonium et des radionucléides à courte période. Les conséquences pour l'environnement de ces essais ont été étudiées de façon approfondie par l'Australian Radiation Laboratory (ARL) et ont fait l'objet de nombreuses publications.

La contamination la plus importante par le plutonium survenue à Maralinga a résulté d'une série de douze essais de sûreté au cours desquels 22 kg de plutonium (et une quantité analogue d'uranium-235) ont été libérés dans l'environnement. Les matières ont été dispersées au moyen d'explosifs conventionnels et aucune réaction nucléaire, sinon très faible, n'a eu lieu. Le plutonium a été projeté verticalement jusqu'à des altitudes atteignant parfois 800 mètres et a été dispersé sur de grandes distances par les vents qui prévalaient alors, ce qui a entraîné la contamination de territoires considérables. On a trouvé du plutonium à plusieurs kilomètres des points de détonation.

L'ARL a détecté du plutonium principalement sous trois formes: agglutiné à la surface de matériaux tels que des morceaux de métal, des

matières plastiques, des câbles et des briques de plomb faisant partie des montages expérimentaux; sous forme de minuscules fragments ou particules pas toujours visibles à l'œil nu mais facilement détectables par détecteur gamma; et sous forme de matières très finement dispersées consistant en particules de sol contaminé et en particules de plutonium recondensé approximativement de même taille que celles du sol proprement dit.

Des échantillons de ces matières ont été rassemblés et séparés en tamisant jusqu'à un diamètre de 45 microns pour déterminer leur concentration en masse et leur activité volumique. Les résultats ont montré que la masse la plus élevée s'observait généralement chez les particules mesurant 250 à 500 microns; l'essentiel de l'activité (environ 41%), cependant, était concentré dans les particules mesurant moins de 45 microns, qui ne représentaient que 5% de la masse totale.

On a en outre fractionné les échantillons les plus fins en sept tailles aérodynamiques s'échelonnant de 45 microns à moins de 3 microns. De cette façon, on a également détecté des particules inhalables, définies comme ayant une taille inférieure à sept microns.

Des particules ont également été détectées dans un échantillon de sol de 800 grammes (ayant une activité de 25 Bq d'américium-241), décomposé par séparations binaires en particules discrètes. Toute l'activité de l'échantillon a été détectée dans les 54 particules radioactives séparées. On a estimé que l'activité de chaque particule était comprise entre 0,1 et 2,0 Bq d'américium-241; le diamètre moyen était d'environ 20 microns.

On a également détecté un grand nombre de particules radioactives de diamètre inférieur à un millimètre, qui ont été analysées par spectrométrie gamma à haute résolution (pour déterminer le

rapport plutonium-239/américium-241) et dont on a mesuré l'assimilation biologique. Cinq particules de diamètre inférieur à un millimètre ayant une activité comprise entre 30 Bq et 5 kBq ont également été analysées par spectroscopie à émission de rayons X induite par protons pour obtenir des informations sur leur composition élémentaire et leur homogénéité.

Dans ces particules, qui mesuraient plusieurs centaines de microns de diamètre, on a détecté du plutonium et de l'uranium répartis de façon homogène à la surface. Les principaux éléments détectés ont été l'aluminium (1,8%), le potassium (2,3%), le calcium (1%), le fer (23%), le plomb (1,9% à 35%), l'uranium (2,9% à 0,8%) et le plutonium (19%). Des études de dissolution dans du fluide pulmonaire simulé ont montré que les particules n'étaient pas particulièrement solubles.

ÉTUDES MENÉES EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

D'autres études des particules radioactives ont été menées en Polynésie française par une équipe d'experts dans le cadre de l'Étude internationale de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa, achevée en 1998. De juillet 1966 à septembre 1974, quarante et un essais nucléaires atmosphériques ont été effectués sur ces atolls. En outre, cinq essais de sûreté ont été effectués en surface à la pointe nord de l'atoll de Mururoa, en un lieu généralement appelé région de Colette.

Les essais de sûreté avaient pour objet d'étudier le comportement du cœur d'engins nucléaires dans les conditions simulées d'une détonation défectueuse, le cœur étant détruit par détonation d'explosifs conventionnels. Chaque essai a entraîné la dispersion

d'environ 3,5 kg de plutonium-239 sous la forme de plutonium et d'oxyde de plutonium pulvérisés. Bien que d'importantes opérations de nettoyage aient été menées entre 1982 et 1987, des particules radioactives de plutonium ont subsisté à la surface de la région de Colette et dans le banc de sable adjacent du lagon.

Dans le cadre de l'Étude internationale, une équipe de scientifiques a évalué la contamination résiduelle de l'environnement terrestre de Mururoa et de Fangataufa, y compris la région de Colette. Une campagne d'échantillonnage organisée et coordonnée par les laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf a été mise en œuvre pendant l'été de 1996. Cette campagne a donné lieu à d'importantes mesures radiochimiques effectuées sur quelque 300 échantillons (*voir article page 24*).

L'analyse de la contamination résiduelle de la région de Colette a mis en évidence la présence de particules radioactives contenant du plutonium. Vingt particules relativement grandes, de diamètre compris entre 200 microns et un millimètre, ont été séparées de débris de coraux et de roches coralliennes broyées. Ces particules ont été mesurées par spectrométrie gamma à haute résolution pour évaluer leur activité et le rapport plutonium-239/américium-241. L'activité du plutonium-239 s'est révélée être comprise entre 5 et 300 kBq, bien qu'une particule ayant une activité d'un MBq ait également été trouvée. L'activité de l'américium-241 dans les particules était comprise entre 0,2 et 5,6 kBq. Six de ces particules radioactives, dont le diamètre était compris entre 200 et 500 microns, ont également été étudiées par microscopie optique et fluorescence des microrayons X. Les observations ont révélé que certaines particules étaient compactes, lisses et vitreuses, tandis que d'autres

semblaient rugueuses et pouvaient même être des agglomérats de particules plus petites.

Outre le plutonium, les particules se sont révélées contenir d'autres éléments. Elles contenaient de l'uranium et du neptunium à des concentrations 10 à 100 fois inférieures à celles de plutonium; du calcium (indiquant qu'elles avaient une matrice de carbonate de calcium); du fer (établissant leur nature métallique); du chlore (provenant très probablement du sel marin); et des traces de manganèse, de nickel, de chrome, de cobalt et de titane (provenant probablement des conteneurs d'acier renfermant les matières fissiles utilisées pour les essais de sûreté).

Pour estimer la répartition du plutonium dans les débris de coraux, on a également tamisé un échantillon de 1053 grammes en fractions de sept tailles. On a mesuré l'activité du plutonium et de l'américium dans les différentes fractions par spectrométrie gamma à haute résolution. Les résultats ont indiqué que 99,9% de la masse et 95,8% de l'activité étaient présents dans des particules de diamètre supérieur à 250 microns.

Il faut néanmoins souligner que l'étude n'a pas exclu la présence de particules de diamètre inférieur à 10 microns (contenant la fraction inhalable) ayant une activité de plutonium-239 de plusieurs centaines de becquerels. Des études *in vitro* de dissolution dans du sérum simulé effectuées sur six particules ont montré que la quantité de plutonium solubilisé était dans tous les cas inférieure à 0,07% de celle initialement présente dans les particules. Ces caractéristiques de dissolution étaient comparables à celles des particules provenant du site d'essais nucléaires de Maralinga.

FUTURS BESOINS

L'étude des particules radioactives est indispensable si l'on veut

évaluer correctement les risques liés aux rayonnements sur les sites contaminés par des essais nucléaires. À ce jour, cependant, les études ont posé plus de questions qu'elles n'ont apporté de réponses définitives. Elles prouvent que les informations sur les particules radioactives et sur le fractionnement des particules obtenues par l'analyse radiochimique, chimique et physique des débris demeurent trop rares et trop éparses compte tenu de la diversité des particules produites et du nombre de variables devant être étudiées. C'est pourquoi l'on ne comprend toujours pas pleinement les phénomènes complexes qui régissent la formation, la composition chimique et radiochimique ou les propriétés physiques et morphologiques des particules radioactives et leur comportement dans le milieu naturel.

De toute évidence, les phénomènes aboutissant à la formation des particules radioactives et leur comportement dans les écosystèmes sont complexes. C'est pourquoi toute généralisation doit être avancée avec prudence. Pour réaliser des progrès dans ce domaine, il faudra probablement recourir à des équipes multidisciplinaires réunissant des experts en chimie physique, des spécialistes des méthodes de micro-analyse non destructives, des radiochimistes et des experts en physique nucléaire et sanitaire.

Il faut également souligner que des particules radioactives de différentes tailles et compositions contenant des actinides et des produits de fission ou d'activation sont libérés dans l'environnement par des sources autres que les essais nucléaires. De telles particules ont été libérées, par exemple, par l'incendie du réacteur de Windscale en 1957, par l'accident d'un B-52 à Thule en 1968, par l'accident du

satellite Cosmos au Canada en 1978 et par l'accident de Tchernobyl en 1986. Des particules radioactives ont également été libérées dans l'environnement par les installations nucléaires produisant de matières fissiles destinées aux programmes d'essais d'armes nucléaires.

En règle générale, on sait que toute installation de traitement de matières nucléaires libère des quantités faibles, mais détectables, d'isotopes radioactifs et non radioactifs dans l'environnement immédiat. Ces rejets, qui n'ont souvent aucune incidence du point de vue du risque lié aux rayonnements, peuvent prendre la forme de flux d'effluents, d'aérosols ou de particules et peuvent être détectés à quelque distance, en amont ou en aval, du point de libération.

Les méthodes d'analyse utilisées pour étudier les particules radioactives provenant des essais nucléaires peuvent également servir à étudier d'autres sources de radioactivité liées à l'environnement. Elles permettent aux scientifiques de mesurer des quantités extrêmement faibles d'éléments chimiques et d'isotopes présents dans les matières radioactives libérées, et d'obtenir ainsi des informations sur leur processus de formation.

Espérons que dans les années à venir, d'autres études des particules radioactives seront menées sur des sites contaminés par des essais d'armes nucléaires et par différents types d'accident nucléaire, ainsi que sur des sites proches d'installations nucléaires. Ces travaux bénéficieront des progrès réalisés dans le domaine de l'analyse instrumentale. Ils permettront de mieux comprendre le rôle joué par les particules radioactives dans l'évaluation des risques liés aux rayonnements et fourniront des renseignements sur le type et la finalité des installations qui les produisent. □

RÉUNIONS DU CONSEIL DES GOUVERNEURS DE L'AIEA

Lors de plusieurs réunions tenues en novembre 1998, le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a, entre autres mesures, approuvé le programme de coopération technique de l'AIEA pour 1999-2000 et six Protocoles additionnels aux accords de garanties signés avec les États.

Le programme de coopération technique approuvé a pour caractéristiques essentielles une tendance croissante à la régionalisation, une attention accrue portée aux questions de sûreté, et l'établissement de dossiers de pays et de plans d'action par pays.

Les six Protocoles additionnels ont été signés avec les États suivants: Chypre, Hongrie, Japon, Monaco, Slovaquie et Chine. Auparavant, le Conseil a approuvé des Protocoles additionnels avec 32 États.

Dans sa déclaration liminaire devant le Conseil, le directeur général de l'AIEA, M. Mohamed ElBaradei, a précisé que plusieurs autres Protocoles additionnels faisaient l'objet de discussions avec les États concernés et que certains d'entre eux pourraient être finalisés avant la prochaine réunion du Conseil, prévue en mars 1999.

Composition du Conseil pour 1998-1999. En septembre 1998, les participants à la Conférence générale de l'AIEA ont élu onze États membres au Conseil de l'AIEA.

Les États membres nouvellement élus ont été le Brésil, le Chili, l'Égypte, la Grèce, la Jordanie, la Norvège, l'Arabie saoudite, Singapour, la Slovaquie, le Soudan et l'Uruguay.

Les vingt-quatre autres États membres du Conseil qui ont été soit désignés par le Conseil, soit élus par la Conférence générale sont l'Argentine, l'Australie, la Belgique, le Canada, la Chine, la France, l'Allemagne, le Ghana, la Hongrie, l'Inde, l'Italie, le Japon, la République de Corée, le Mexique, le Maroc, le Pakistan, le



Pérou, la Fédération de Russie, la Slovaquie, l'Afrique du Sud, la Suède, le Royaume-Uni, les États-Unis et le Viet Nam.

Président du Conseil. À sa première séance, en septembre 1998, le Conseil de l'AIEA nouvellement constitué a élu M. Miroslav Gregoric (Slovénie) (*photo ci-dessus*) président pour l'exercice 1998-1999. M. Gregoric est le directeur de l'Agence slovène pour la sûreté nucléaire, poste qu'il détient depuis 1989. Il a conduit les délégations de son pays à la Conférence générale de l'AIEA à de nombreuses occasions.



À gauche: L'Autriche est l'un des États ayant signé un protocole additionnel avec l'AIEA. Mme Irene Freudenschuss-Reichl a signé le Protocole au nom de l'Autriche lors de la Conférence générale de l'AIEA en septembre 1998. (photo: Cabmal/AIEA)

L'AIEA ET L'AN 2000

À la demande des États membres, l'AIEA fait office de centre d'échange d'informations et de point de contact pour les problèmes informatiques liés à l'an 2000 — connus sous le nom de "bogue de l'an 2000" — en ce qui concerne les techniques et services nucléaires à vocation pacifique. Dans le cadre de ses activités, l'Agence a mis en place un plan d'action qui englobe les activités correspondantes relatives à la sûreté nucléaire, aux applications médicales, aux garanties ainsi qu'aux bases de données et aux systèmes d'information de l'AIEA. S'agissant des activités relatives à la sûreté nucléaire, l'AIEA interroge ses États membres sur les mesures qu'ils ont prises et prévues en vue de l'an 2000. Les informations tirées du questionnaire seront

transmises aux États membres. Dans le domaine des garanties, l'Agence organisera, en février 1999, un séminaire international sur les problèmes liés à l'an 2000 dans la mesure où ils concernent les systèmes de garanties nucléaires et la sécurité des matières nucléaires.

Pour de plus amples renseignements et pour obtenir des rapports d'avancement sur les activités menées par l'AIEA dans ce domaine, consulter le site Internet *WorldAtom* de l'AIEA à l'adresse <http://www.iaea.org>. Le site contient plusieurs pages spéciales consacrées au "bogue de l'an 2000", où figurent notamment des liens renvoyant aux services correspondants des pays et à d'autres organisations présentes dans les États membres de l'AIEA.

LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE FAVORABLE À UN RENFORCEMENT DES PROGRAMMES



Les États réunis lors de la Conférence générale de l'AIEA à Vienne ont fermement soutenu les mesures visant à renforcer les programmes de l'Agence relatifs à la vérification nucléaire, à la coopération technique, à la sûreté nucléaire, à la radioprotection et à la sûreté des déchets.

Ils ont adopté, lors des séances de clôture de la Conférence, des résolutions dans chacun de ces domaines.

La Conférence générale a eu lieu du 21 au 26 septembre 1998 à Vienne et a réuni des ministres et des hauts fonctionnaires de 105 États membres de l'Agence. Mme Roberta Lajous Vargas (Mexique) a été élue présidente de la Conférence générale.

Les résolutions adoptées par la Conférence générale on notamment porté sur:

- le renforcement de l'efficacité et l'amélioration de l'efficacité du système de garanties et l'application du protocole-type;
- le renforcement des activités de coopération technique de l'Agence;
- la sûreté des sources de rayonnements et la sécurité des matières radioactives;
- la sûreté du transport des matières radioactives;
- l'étude de la situation radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa;
- la Convention sur la sûreté nucléaire;



Mme Roberta Lajous Vargas (Mexique) a été élue présidente de la Conférence générale. (Photo: Calma/AIEA)

- les mesures visant à contrer le "bogue de l'an 2000";
- la mise en œuvre de l'accord signé entre l'Agence et la République démocratique populaire de Corée concernant l'application des garanties conformément aux dispositions du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires;
- l'application des résolutions du Conseil de sécurité des Nations Unies relatives à l'Iraq;
- les mesures de lutte contre le trafic illicite des matières nucléaires et d'autres sources radioactives;
- les essais nucléaires;
- l'application des garanties de l'AIEA au Moyen-Orient;
- l'élaboration d'un plan de production économique d'eau potable;
- les crédits ouverts au titre du budget ordinaire pour 1999. Des dépenses représentant 224,3 millions de dollars des États-Unis ont été approuvées;

INSPECTIONS DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES IRAZIENNES PAR L'AIEA

Dans une déclaration publiée le 16 novembre 1998, le directeur général de l'Agence, M. Mohamed ElBaradei s'est félicité de la décision prise par l'Iraq de reprendre pleinement sa coopération avec l'AIEA et avec la commission spéciale des Nations Unies.

Les fonctionnaires de l'AIEA, qui avaient été transférés temporairement à Bahreïn le 11 novembre pour des raisons de sécurité, ont regagné Bagdad. Ils ont entrepris un programme intensif d'inspection des installations afin de rétablir la continuité des informations concernant les moyens techniques dont dispose l'Iraq dans ce domaine. Du personnel supplémentaire de l'AIEA a été dépêché à Bagdad pour participer à ces activités initiales et pour poursuivre les travaux prévus dans le but d'appliquer pleinement le mandat de l'Agence en Iraq, y compris son droit à un accès sans réserve et libre aux installations.

Dans sa déclaration de novembre, le Dr ElBaradei a précisé qu'il espérait être en mesure de confirmer au Conseil de sécurité des Nations Unies, dans un avenir proche, que toutes les activités nécessaires menées par l'AIEA se déroulaient avec la pleine coopération des autorités iraziennes.

- le Fonds de coopération technique pour 1999. Un objectif de 73 millions de dollars des États-Unis a été approuvé.

Le texte intégral des résolutions ainsi que des documents, communiqués de presse, déclarations sommaires et documents d'information de la Conférence générale peut être consulté sur le site Internet WorldAtom de l'AIEA à l'adresse <http://www.iaea.org/GC/gc42>.

DÉCLARATIONS DU DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'AIEA

Le directeur général de l'AIEA, M. Mohamed ElBaradei, a prononcé, devant l'Assemblée générale des Nations Unies, en novembre 1998, une déclaration dans laquelle il a rendu compte des travaux menés par l'Agence et des défis qu'elle doit relever. Le texte intégral de cette déclaration peut être consulté sur le site Internet *WorldAtom* de l'AIEA à l'adresse <http://www.iaea.org> (sélectionner, à la rubrique "Quick Index", l'option "Director General's statements"). On a récemment ajouté, sur le site *WorldAtom*, les déclarations prononcées par le Dr ElBaradei dans plusieurs pays. Ces déclarations abordaient notamment les thèmes suivants:

- **La coopération internationale et l'avenir de l'énergie nucléaire**, déclaration faite devant le European Nuclear Congress 1998 à Nice (France) le 26 octobre 1998.
- **Déclaration prononcée lors du Colloque international sur la pollution marine** à Monaco le 5 octobre 1998. Le Dr ElBaradei a prononcé la déclaration d'ouverture de ce colloque, qui a



passé en revue d'importants projets en coopération de protection de l'océan et des mers (*voir page 51*).

- **Déclaration prononcée lors de la Réunion ministérielle consacrée à l'évaluation de l'écosystème marin de la mer Noire** le 5 octobre 1998. Dans son allocution d'ouverture, le directeur général a mis en lumière les progrès relevés et problèmes rencontrés dans le cadre des projets de coopération en faveur de la mer Noire de l'AIEA.

- **La contribution de la coopération dans le domaine de l'énergie nucléaire à un nouvel âge mondial** — allocution prononcée devant l'Agence pour l'énergie

nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques à Paris (France), le 30 septembre 1998. Allocution prononcée à l'occasion du 40ème anniversaire de l'AEN.

- **Discours prononcé devant le Conseil de l'OCDE Paris** le 30 septembre 1998. Le Dr ElBaradei a présenté un aperçu des travaux de l'AIEA présentant un intérêt pour l'OCDE.

Photo: Le Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies, M. Kofi Annan, et le Dr ElBaradei à New York en novembre.

LES ÉTATS-UNIS ET LA RUSSIE SIGNENT DES ACCORDS RELATIFS AU NUCLÉAIRE

Pendant la Conférence générale de l'AIEA, tenue en septembre 1998 à Vienne, le Secrétaire américain à l'énergie, Bill Richardson (*à gauche sur la photo*), et le ministre russe de l'énergie atomique, Evguény Adamov, ont signé un accord visant à attirer des entreprises commerciales vers dix "villes nucléaires" russes. Ils ont également signé un rapport commun qui définit un cadre visant à résoudre les problèmes liés à l'accord d'achat, par les États-Unis, d'uranium provenant des armes nucléaires russes



(également connu sous le nom d'accord sur l'uranium fortement enrichi).

Le rapport commun sur l'uranium fortement enrichi offre un cadre levant les obstacles potentiels à la mise en œuvre d'un accord signé en 1993. En vertu de

cet accord, la Russie convertit l'uranium fortement enrichi extrait des armes nucléaires démantelées en uranium faiblement enrichi livré ensuite aux États-Unis, qui l'utilisent dans leurs réacteurs nucléaires commerciaux.

DE NOUVEAUX ÉTATS ADHÈRENT AUX CONVENTIONS INTERNATIONALES

En 1998, de nouveaux États ont entrepris d'adhérer aux conventions internationales adoptées dans le domaine de la sûreté et dans des domaines connexes sous les auspices de l'AIEA.

■ **Convention sur la sûreté nucléaire.** En 1998, sept nouveaux pays — l'Italie (15 avril, ratification), le Portugal (20 mai, ratification), la République de Moldova (7 mai, adhésion), l'Ukraine (8 avril, ratification), l'Arménie (21 septembre, ratification), le Bélarus (29 octobre, adhésion) et le Danemark (13 novembre, acceptation) — ont accepté d'être liés par la Convention.

En décembre 1998, la Convention comptait soixante-cinq signataires et quarante-neuf parties.

■ **Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs.** En 1998, plusieurs nouveaux États ont signé ou ratifié la Convention.

Ces États sont le Canada (7 mai, signature et ratification), la Croatie (9 avril, signature), le Danemark (9 février, signature), la Grèce (9 février, signature), la Hongrie (2 juin, ratification), l'Italie (26 janvier, signature), la Norvège (12 janvier, ratification), le Pérou (4 juin, signature), les Philippines (10 mars, signature), l'Espagne (30 juin, signature), l'Autriche (17 septembre, signature), la Bulgarie (22 septembre,

signature), la Slovaquie (6 octobre, ratification), l'Allemagne (13 octobre, ratification) et l'Australie (13 novembre, signature).

En décembre 1998, trente-sept États avaient signé la Convention et cinq États étaient devenues parties.

■ **Convention sur la protection physique des matières nucléaires.** En 1998, l'Ouzbékistan et la République de Moldova ont déposé un instrument d'adhésion (9 février et 7 mai,

respectivement), et la Bosnie-Herzégovine un instrument de succession (30 juin, avec effet au 1er mars 1992).

En décembre 1998, 63 États étaient parties à la Convention.

■ **Convention de Vienne sur la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires.** En 1998, le Bélarus a déposé un instrument de ratification (9 février), la République de Moldova un instrument d'adhésion (7 mai) et la Bosnie-Herzégovine un instrument de succession (30 juin, avec effet au 1er mars 1992).

En décembre 1998, 31 États étaient parties à la Convention.

■ **Protocole portant modification de la Convention de Vienne sur la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires.** En décembre 1998, quatorze États avaient signé le Protocole. Ces États sont l'Argentine, le Bélarus, la République tchèque, la Hongrie, l'Indonésie, l'Italie, le Liban, la Lituanie, le Maroc, le

Pérou, les Philippines, la Pologne, la Roumanie et l'Ukraine.

■ **Convention sur la compensation complémentaire des dommages nucléaires.** En décembre 1998, treize États avaient signé la Convention. Ces États sont l'Argentine, l'Australie, la République tchèque, l'Indonésie, l'Italie, le Liban, la Lituanie, le Maroc, le Pérou, les Philippines, la Roumanie, l'Ukraine et les États-Unis.

■ **Convention d'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique.** En 1998, la République de Moldova a adhéré à la Convention (7 mai) et la Bosnie-Herzégovine a déposé un instrument de succession (30 juin, avec effet au 1er mars 1992).

En décembre 1998, 77 États étaient parties à la Convention.

■ **Convention sur la notification rapide des accidents nucléaires.** En 1998, la République de Moldova a adhéré à la Convention (7 mai) et la Bosnie-Herzégovine a déposé un instrument de succession (30 juin, avec effet au 1er mars 1992).

En décembre 1998, 82 États étaient parties à la Convention.

On trouvera un état actualisé et le texte des conventions sur le site Internet WorldAtom de l'AIEA à l'adresse <http://www.iaea.org>. Sur la page d'accueil, dans l'index rapide, cliquer sur « Nuclear Law ».

UN COLLOQUE SUR LE MILIEU MARIN

Un Colloque international sur la pollution marine organisé à Monaco a récemment mis en lumière certains problèmes cruciaux auxquels le monde est confronté et a défini de futures orientations en matière de coopération mondiale. Le Colloque, qui s'est tenu du 5 au 9 octobre 1998, était coparrainé par l'AIEA, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), et la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). Il a réuni d'éminents experts de la pollution marine et des représentants d'organisations compétentes du système des Nations Unies et d'autres organisations.

Prenant la parole lors du Colloque, le directeur général de l'AIEA, M. Mohamed ElBaradei, a souligné la nécessité des études sur la pollution marine, dans lesquelles les méthodes nucléaires et isotopiques jouent un rôle important. Plus de 400 experts internationaux représentant 61 États et huit organisations

internationales ont participé à cette réunion. Il a été fait part de progrès dans les domaines suivants: identification des sources de pollution; comportement et devenir des contaminants dans l'eau de mer, le biote et les sédiments marins; utilisation des marqueurs radioactifs et autres pour l'étude des processus de transport et de circulation dans les océans; étude des sites de rejet de déchets radioactifs et des sites d'essais nucléaires; et modélisation informatique du transport des contaminants. Ont également été présentés les derniers progrès réalisés en matière de mesure analytique ultrasensible des contaminants, l'accent étant placé sur les méthodes nucléaires et isotopiques. Un compte rendu détaillé des documents examinés lors du Colloque devrait être publié par le *Journal of the Science of the Total Environment*. Les actes du Colloque sont, quant à eux, en voie d'être publiés par l'AIEA.

Déclaration de la mer Noire. Pendant la semaine du Colloque, les ministres de l'environnement des pays riverains de la mer Noire

ont signé une Déclaration qui définit les futures activités de coopération. Entre autres points, la Déclaration note le rôle clé joué par un projet de coopération technique de l'AIEA dans l'amélioration des moyens d'évaluation scientifique du milieu marin dont disposent ces pays.

Pour de plus amples renseignements sur le Colloque et sur le Laboratoire de l'environnement marin de l'AIEA, consulter le site Internet *WorldAtom* de l'AIEA à l'adresse <http://www.iaea.org/monaco>.

Photo: les nouveaux locaux du Laboratoire de l'environnement marin (LEM) de l'AIEA à Monaco ont été officiellement inaugurés lors du Colloque en présence du Prince Rainier III (deuxième à partir de la gauche) et du Prince Albert (à gauche). Ont également participé à la cérémonie d'inauguration le directeur général de l'AIEA, M. Mohamed ElBaradei (à droite), et M. Hugh Livingston, directeur du LEM (troisième à partir de la gauche).



PROGRÈS RÉALISÉS DANS LA VÉRIFICATION PAR L'AIEA DES MATIÈRES D'ORIGINE MILITAIRE

De nouvelles mesures sont prévues par les États-Unis, la Russie et l'AIEA, dans le cadre de leur Initiative trilatérale, pour examiner les questions liées à la vérification, par l'AIEA, des matières fissiles d'origine militaire qui ne sont plus requises à des fins de défense. Les progrès accomplis ont été examinés en septembre 1998 par le directeur général de l'AIEA, Mohamed ElBaradei, le Secrétaire américain à l'énergie, Bill Richardson et le ministre de l'énergie atomique de la Fédération de Russie, Evguény Adamov, lors d'une réunion tenue pendant la Conférence générale de l'AIEA.

Cette réunion a fait suite au Sommet américano-russe lors duquel les présidents Eltsine et Clinton avaient signé, le 2 septembre 1998, une "Déclaration de principe commune sur la gestion et l'élimination du plutonium désigné comme n'étant plus requis à des fins de défense". Dans cette Déclaration, les États-Unis et la Russie s'engageaient à concevoir des méthodes et des techniques acceptables permettant l'application de mesures de transparence, y compris des mesures appropriées de vérification internationale.

La Russie et les États-Unis ont chacun recensé environ 50 tonnes de plutonium qui feront l'objet d'un futur accord bilatéral découlant de cette Déclaration commune. La gestion et l'élimination de ce plutonium nécessitera un stockage de longue durée. Dans les années à venir, des mesures seront prises pour rendre ce plutonium inutilisable pour la fabrication d'armes nucléaires.

L'an dernier, des ateliers techniques ont été organisés aux États-Unis, en Russie et au Siège de l'AIEA. D'autres ateliers sont

prévus cette année à mesure que les activités techniques passent des concepts à l'application pratique.

Les Parties s'emploient également à élaborer un accord-type de vérification. Cet accord anticipe le fait que d'autres États détenteurs d'armes nucléaires pourraient prendre, à l'avenir, des dispositions analogues concernant de futures réductions d'armements; il serait l'un des moyens permettant d'effectuer une vérification internationale du désarmement nucléaire. Les Parties étudient également

différentes options financières. L'une d'entre elles, proposée récemment par le Dr ElBaradei, consisterait à créer un Fonds de vérification du contrôle des armements nucléaires

MM. Richardson, Adamov et ElBaradei ont convenu de poursuivre les activités prévues en 1999 de sorte que les vérifications puissent commencer en temps voulu. Ils ont décidé que les Parties se réuniraient de nouveau en septembre 1999 pour examiner les progrès accomplis et les plans.

UN NOUVEAU SYSTÈME D'INSTRUMENTATION AU LAG

Les spécialistes du laboratoire d'analyse pour les garanties (LAG) de l'AIEA à Seibersdorf (Autriche) utilisent, pour l'analyse des matières nucléaires, un nouvel instrument puissant. Ce nouvel instrument est le fruit de l'aide conjointe apportée par la France et le Royaume-Uni par l'intermédiaire de leurs programmes respectifs d'appui à la mise en œuvre des garanties. L'instrumentation — un spectromètre de masse/à couplage inductif — a été offerte par le Royaume-Uni, la France fournissant les boîtes à gants et assurant l'installation et l'essai des instruments ainsi que la formation des scientifiques de Seibersdorf.

Dans le cadre des essais de systèmes effectués l'an dernier, les analystes du LAG ont utilisé le nouvel instrument pour analyser des échantillons prélevés lors d'inspections menées par l'AIEA en application des accords de garanties. Ces mesures ont été réalisées de façon professionnelle et exacte. Le LAG prévoit maintenant d'utiliser plus pleinement cet instrument à mesure que sont conçues de nouvelles techniques de préparation des échantillons.

La photo ci-dessous montre des analystes du LAG et des responsables français et britanniques lors d'une démonstration de l'instrument.



Colloque sur le combustible usé. Des experts de 35 pays et cinq organisations internationales se sont récemment réunis à Vienne lors du Colloque international de l'AIEA sur le stockage du combustible usé provenant des réacteurs nucléaires. Les participants ont examiné la situation mondiale et les politiques et pratiques nationales. On trouvera un résumé de ce colloque sur le site Internet *WorldAtom* de l'AIEA à l'adresse:
www.iaea.org/worldatom/updates/spentfuel.html

COP-4 à Buenos Aires. L'AIEA a participé en qualité d'observateur officiel à la

quatrième session de la Conférence des parties de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique, qui s'est tenue du 2 au 13 novembre 1998 à Buenos Aires (Argentine). L'Agence analyse maintenant l'incidence qu'auront sur l'avenir de l'énergie nucléaire les divers mécanismes adoptés lors des réunions dans le cadre d'un plan d'action que les Parties ont adopté en vue de mettre au point la version finale du Protocole de Kyoto de 1997.

La médecine nucléaire sur Internet. Des informations actuelles et exactes sur les méthodes les plus efficaces de prévention, de diagnostic et de

traitement des problèmes de santé à l'aide des techniques nucléaires vont être mises à disposition dans le monde entier par l'intermédiaire d'Internet. L'initiative de médecine nucléaire sur Internet est un projet commun de l'AIEA, de la Fédération mondiale de médecine et de biologie nucléaires et de la Cochrane Collaboration, une organisation à but non lucratif fondée en 1993. Pour de plus amples renseignements, consulter les pages consacrées à la santé humaine du site Internet *WorldAtom* de l'AIEA.

Vivre avec les rayonnements. Le *National Radiological Protection Board* du Royaume-Uni a publié une nouvelle édition de son ouvrage populaire intitulé *Living with Radiation*. Ce livre de 70 pages contient des informations de base sur la nature, les usages et les risques des rayonnements. Pour de plus amples renseignements, s'adresser au NRPB, Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ ou consulter son site Internet à l'adresse www.nrpb.org.uk

Coopération interorganisations. Les travaux du Groupe consultatif sur l'irradiation des aliments — organe interorganisations regroupant 47 pays membres — ont été prolongés de trois ans. Son mandat actuel expire en mai 1999. Le Groupe est un projet commun de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), de l'Organisation mondiale de la santé et de l'AIEA. Pour de plus amples renseignements, s'adresser à la Division commune FAO/AIEA, qui fait office de secrétariat du Groupe au siège de l'AIEA à Vienne.

PTP

Professional Training Programs

Fifty Years of Creating Solutions for Your Training Needs

1998-1999 Courses

Introduction to Radiation Safety
Radiological Surveys in Support of Decommissioning
Environmental Monitoring
Applied Health Physics
MARSSIM
Gamma Spectroscopy
X-Ray Physics for Inspectors
Health Physics for the Industrial Hygienist
Air Sampling for Radioactive Materials

- Experienced Certified Health Physics instructors
- Hands-on exercises and laboratory activities
- Dedicated state-of-the-art nuclear instrumentation
- 13,000 square feet of classrooms and laboratories

Registrar, Professional Training Programs
Oak Ridge Associated Universities
P.O. Box 117, Oak Ridge, TN 37831-0117
Phone: 423-576-3576 • E-mail: Registrar@orau.gov
Please visit our Web site at <http://www.orau.gov/ptp/ptp.htm>

ORAU
OAK RIDGE ASSOCIATED UNIVERSITIES

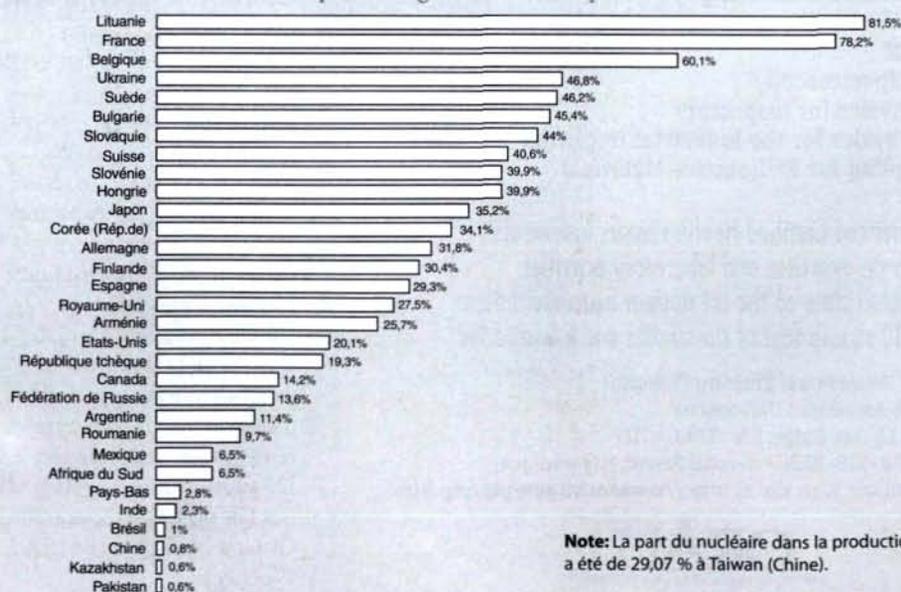
SITUATION DE L'ENERGIE NUCLÉAIRE DANS LE MONDE

	EN SERVICE		EN CONSTRUCTION	
	NOMBRE DE TRANCHES	TOTAL MWE	NOMBRE DE TRANCHES	TOTAL MWE
AFRIQUE DU SUD	2	1 842		
ALLEMAGNE	20	22 282		
ARGENTINE	2	935	1	692
ARMÉNIE	1	376		
BELGIQUE	7	5 712		
BRESIL	1	626	1	1 245
BULGARIE	6	3 538		
CANADA	16	11 994		
CHINE	3	2 167	4	3 090
CORÉE, RÉP. DE	12	9 770	6	5 120
ESPAGNE	9	7 320		
ETATS-UNIS D'AMÉRIQUE	107	99 188		
FINLANDE	4	2 455		
FRANCE	59	62 853	1	1 450
HONGRIE	4	1 729		
INDE	10	1 695	4	808
IRAN			2	2 111
JAPON	54	43 850	1	796
KAZAKHSTAN	1	70		
LITUANIE	2	2 370		
MEXIQUE	2	1 308		
PAKISTAN	1	125	1	300
PAYS-BAS	1	449		
RÉPUBLIQUE TCHÈQUE	4	1 648	2	1 824
ROUMANIE	1	650	1	650
ROYAUME-UNI	35	12 928		
RUSSIE, FÉD. DE	29	19 843	4	3 375
SLOVAQUIE	4	1 632	4	1 552
SLOVÉNIE	1	632		
SUÈDE	12	10 040		
SUISSE	5	3 079		
UKRAINE	16	13 765	4	3 800
TOTAL*	437	351 795	36	26 813

*Ce total inclut Taiwan (Chine) où six réacteurs d'une puissance totale de 4 884 MWe étaient en service en mai 1998. Les chiffres figurant dans ce tableau et dans le graphique qui suit sont préliminaires et ont été tirés de rapports de l'AIEA; ils sont donnés sous toute réserve.

PART DU NUCLÉAIRE DANS LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DE QUELQUES PAYS

Ces pourcentages sont valables pour mars 1998



Note: La part du nucléaire dans la production d'électricité a été de 29,07 % à Taiwan (Chine).

Section Head, Technical and Engineering Services Section, Division of General Services, Department of Administration (98/080). This P-4 position represents the IAEA in the planning and co-ordination of technical and engineering services at the Vienna International Centre (VIC). As Chief Engineer, he/she is also in charge of all technical engineering and architectural matters concerning the Seibersdorf Laboratories and Monaco premises. He/she provides technical advice in the decision-making process on all technical/engineering matters concerning the IAEA. The post requires a university degree as civil engineer or architect; at least 10 years of progressive professional technical management experience; at least 5 years' experience as a civil engineer or architect in an international organization or a large corporation; and the ability to apply the principles of human resource management in supervising technical support staff in an international environment. Fluency in English is essential, knowledge of German highly desirable.

Closing Date: 8 April 1999

Section Head, Waste Technology Section, Division of Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology, Department of Nuclear Energy (98/081). This P-5 position develops and implements the Agency's programme related to the technology and management of radioactive wastes. The position requires an advanced university degree or equivalent in nuclear or chemical engineering, nuclear chemistry, physics or environmental science; 15 years' relevant experience with at least five years' managerial experience; five years' experience at international level; knowledge of the principles of human resource management and ability to apply this knowledge in guiding a team of professional and support staff in an international setting. Fluency in English is essential. Fluency in French, Russian or Spanish is an advantage.

Closing Date: 8 April 1999

Nutrition Specialist, Nutritional and Health-Related, Environmental Studies Section, Division of Human Health, Department of Nuclear Sciences and Applications (98/082). This P-5 position assists and advises the Section Head of the Nutritional and Health-Related Environmental Studies Section in all matters relating to the promotion and use of nuclear and isotopic techniques in applications pertaining to human nutrition. The position requires an advanced university degree in a field of science related to the duties of the post; at least 15 years of recent relevant experience in the use of nuclear and isotopic techniques - in particular, in vivo isotope tracer techniques and mass spectrometry; close association with nutrition research in developing countries substantiated by a good publications record.; experience at the international level, including familiarity with relevant programmes of some of the other international organizations that are active in this area; proven scientific knowledge and administrative abilities suitable for leading a team engaged in using nuclear and isotopic techniques to help improve human health through better nutrition; ability to work with other scientists in collaborative ventures; good knowledge of nutritional physiology and biochemistry; good English report-writing and editorial capability; and the ability to use standard office PC software. Fluency in written and spoken English essential. Knowledge of French and/or Spanish is desirable, but not essential.

Closing Date: 8 April 1999

Systems Analyst, Systems Development Section, Division of Scientific and Technical Information, Department of Nuclear Energy (99/002). This P-3 position develops computerized systems to meet the overall needs of the Agency. The position requires an advanced university degree in software engineering or related field; a minimum of 6 years relevant experience in the development of software systems in accordance with formal methods and standards covering the full software development life-

cycle, and using modern tools and techniques; experience with a relational database management system (e.g. MS SQL Server), Visual Basic, SQL, Internet-based software development; experience in software project management; and experience in software process improvement, user interface design methods, as well as document management systems. Fluency in English essential. Managerial abilities to supervise small project teams are also required.

Closing Date: 19 April 1999

NOTE

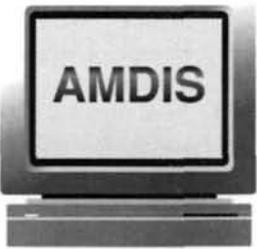
Les avis de vacances de postes (résumés ci-dessus) sont publiés à l'intention des lecteurs souhaitant se renseigner sur le genre de postes d'administrateur à pourvoir à l'IAEA. Ils ne constituent pas des avis officiels et sont susceptibles d'être modifiés. L'IAEA envoie fréquemment aux centres et bureaux 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. Les postes sont ouverts aux candidats, hommes ou femmes, possédant les qualifications appropriées. *De plus amples renseignements sur les possibilités d'emploi à l'IAEA peuvent être obtenus en écrivant à la Division du personnel, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).*

AVIS DE VACANCES DE POSTES SUR INTERNET

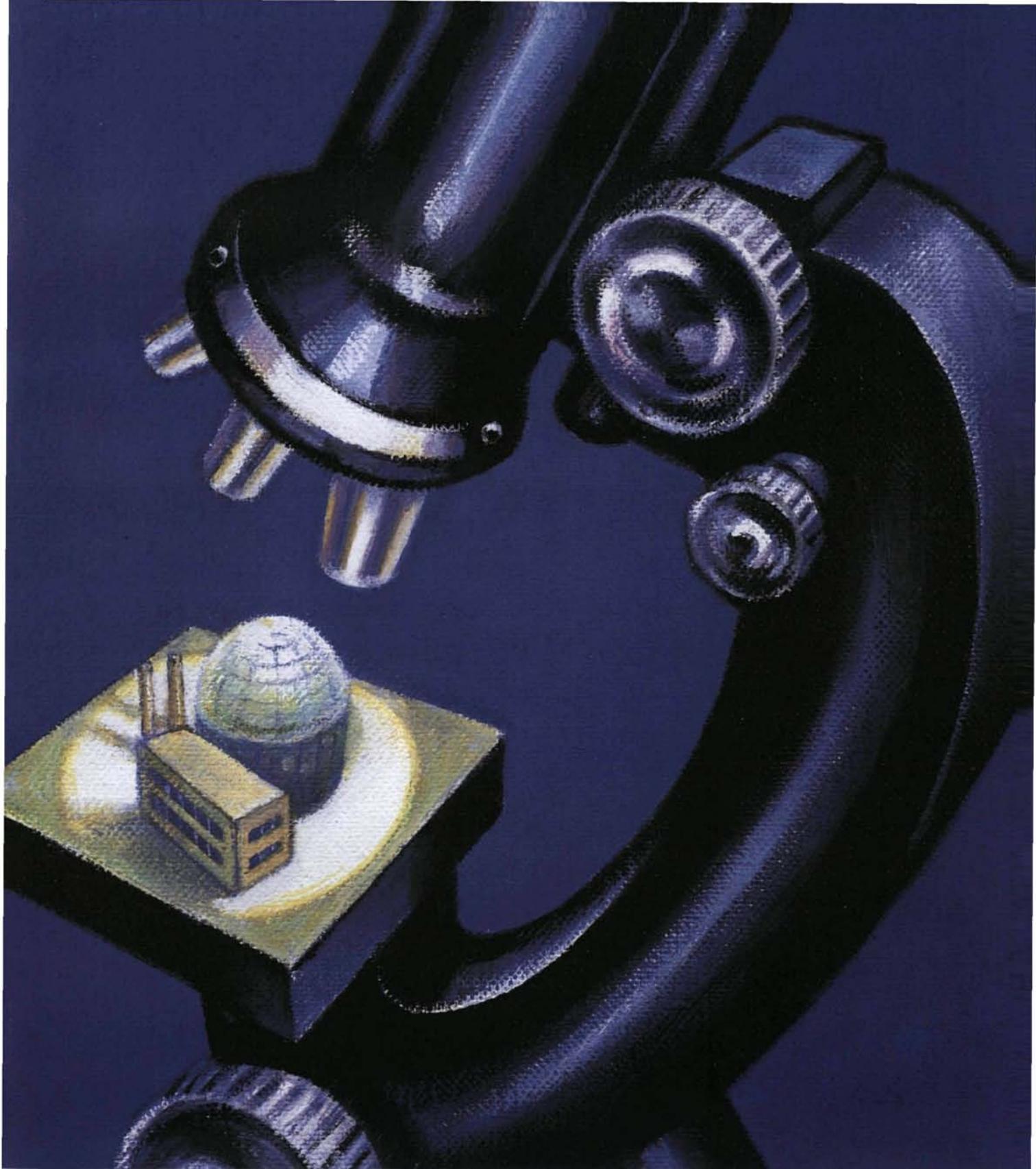
Les avis de vacances de postes d'administrateurs de l'IAEA ainsi que les formulaires de candidature sont disponibles sur Internet à l'adresse suivante:

<http://www.iaea.or.at/worldatom/vacancies>

On peut également obtenir des renseignements généraux sur les conditions d'emploi à l'IAEA ainsi qu'un spécimen du formulaire de candidature. Veuillez noter que les candidatures ne peuvent être transmises par voie électronique mais doivent être adressées par écrit à la Division du personnel de l'IAEA, B.P.100, A-1400 Vienne (Autriche).

<div data-bbox="331 229 588 478" style="text-align: center;">  </div> <p>SYSTÈME DE DOCUMENTATION SUR LES RÉACTEURS DE PUISSANCE (PRIS)</p> <p>DESCRIPTION Répertoire technique</p> <p>PRODUCTEUR Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec 29 de ses Etats membres</p> <p>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: r.spiegelberg-planer@iaea.org Renseignements complémentaires sur Internet: http://www.iaea.org/programms/a2/</p> <p>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</p> <p>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 mise à l'arrêt, caractéristiques du coeur du réacteur et renseignements sur les systèmes de la centrale; énergie produite, arrêts prévus et imprévus, facteur de disponibilité et d'indisponibilité, facteur d'exploitation et facteur de charge.</p>	<div data-bbox="620 229 877 478" style="text-align: center;">  </div> <p>SYSTÈME INTERNATIONAL D'INFORMATION POUR LES SCIENCES ET LA TECHNOLOGIE AGRICOLES (AGRIS)</p> <p>DESCRIPTION Bibliographie</p> <p>PRODUCTEUR Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en collaboration avec 186 centres régionaux, nationaux et internationaux d'AGRIS</p> <p>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: helga.schmid@iaea.org Renseignements complémentaires sur Internet: http://www.iaea.org/worldatom/inforesource/agris/</p> <p>NOMBRE D'ENREGISTREMENTS ACCESSIBLES DEPUIS JANVIER 1996 plus de 210 000</p> <p>DOMAINE Information mondiale sur les sciences, et la technologie agricoles, y compris la foresterie, la pêche et la nutrition</p> <p>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 aquiculture; machines et génie agricoles; ressources naturelles; traitement des produits agricoles; nutrition humaine; pollution; méthodologie.</p>	<div data-bbox="917 229 1175 478" style="text-align: center;">  </div> <p>SYSTÈME DE DOCUMENTATION SUR LES CONSTANTES NUCLÉAIRES (NDIS)</p> <p>DESCRIPTION Données numériques et bibliographiques</p> <p>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</p> <p>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: o.schwerer@iaea.org Renseignements complémentaires sur Internet: http://www.nds.iaea.org/</p> <p>DOMAINE Fichier de constantes de physique nucléaire numériques décrivant l'interaction des rayonnements avec la matière, et renseignements bibliographiques connexes.</p> <p>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.</p> <p><i>Note: L'information NDIS recherchée en mode non connecté peut aussi être obtenue du producteur sur bande magnétique.</i></p>	<div data-bbox="1215 229 1472 478" style="text-align: center;">  </div> <p>SYSTÈME DE DOCUMENTATION SUR LES CONSTANTES ATOMIQUES ET MOLÉCULAIRES (AMDIS)</p> <p>DESCRIPTION Données numériques et bibliographiques</p> <p>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</p> <p>SERVICE COMPÉTENT Unité de constantes atomiques et moléculaires, Section des constantes nucléaires de l'AIEA Courrier électronique: j.a.stephen@iaea.org Renseignements complémentaires sur Internet: http://www.iaea.org/programs/ri/nds/amdisintro.htm</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p><i>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.</i></p>
--	---	---	--

Pour accéder à ces bases de données, s'adresser aux producteurs. L'information peut aussi être fournie par le producteur sous forme imprimée, à titre onéreux. INIS et AGRIS sont également disponibles sur CD-ROM. Des renseignements sur l'ensemble des bases de données de l'AIEA peuvent être obtenus par le biais des services Internet de l'Agence sous WorldAtom à l'adresse suivante: <http://www.iaea.org>.



QUI EN SAIT PLUS SUR L'INDUSTRIE NUCLEAIRE?

Où que vous cherchiez, personne ne possède une expérience nucléaire aussi large que BNFL. Notre savoir faire remonte à plus de 45 ans.

Grâce à la profondeur de notre savoir et à l'étendue de nos activités, personne d'autre ne possède notre capacité d'offrir des solutions intégrées à l'industrie nucléaire. De plus, vous ne trouverez personne plus attentionné aux besoins de

ses clients. Tout d'abord, nous sommes maître dans la fabrication du combustible. Puis, lorsqu'il a été usé, nous disposons des technologies du transport et du recyclage en combustible neuf.

Et quand vient le temps du démantèlement et du nettoyage des sites déclassés, nous sommes également demandés partout dans le monde avec £2,5 milliards de contrats en cours.

En fait, nous sommes visibles dans pas moins de 11 secteurs clés de l'industrie nucléaire, y compris la production électrique. Pour voir vous-même, vous nous trouverez en Allemagne, Belgique, Chine, France, Japon, République de Corée, Royaume Uni, Russie, Ukraine et aux Etats Unis.

Pour en savoir plus, veuillez contacter The Commercial Department,

BNFL, Risley, Warrington, Cheshire WA3 6AS, R-U. Tel +44 1925 832055, Fax +44 1925 834018. Courrier électronique: sales@BNFL.com ou rendez nous visite sur www.BNFL.com



LIEUX DE VENTE DES PUBLICATIONS DE L'AIEA

Dans les pays ci-après, les publications de l'AIEA sont en vente aux adresses indiquées ci-après ou par l'intermédiaire des principales librairies locales.

Le paiement peut être effectué en monnaie locale ou en coupons de l'UNESCO.

ETATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Bernan Associates, 4611-F Assembly Drive, Lanham, MD
20706-4391, EE UU
Téléphone: 1-800-274-4447 (sans taxe)
Facsimilé: (301) 459-0056/
1-800-865-3450 (sans taxe)
Courrier électronique: query@bernan.com
Web site: <http://www.bernan.com>

ALLEMAGNE

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Poppelsdorfer
Allee 55, D-53115 Bonn
Téléphone: +49 228 94 90 20
Facsimilé: +49 228 21 74 92
Web site: <http://www.uno-verlag.de>
Courrier électronique: unoverlag@aol.com

AUSTRALIE

Hunter Publications
58A Gipps Street, Collingwood, Victoria 3066
Téléphone: +61 3 9417 5361
Facsimilé: +61 3 9419 7154
Courrier électronique: jpdavies@ozemail.com.au

BELGIQUE

Jean de Lannoy,
avenue du Roi 202, B-1190 Bruxelles
Téléphone: +32 2 538 43 08
Facsimilé: +32 2 538 08 41
Courrier électronique: jean.de.lannoy@infoboard.be
Web site: <http://www.jean-de-lannoy.be>

BRUNEI

voir Malaisie

CHINE

Publications de l'AIEA en chinois:
Nuclear Information Center, Translation Service
P.O. Box 2103, Beijing 100037

DANEMARK

Munksgaard Subscription Service,
Nørre Søgade 35, P.O. Box 2148
DK-1016 Copenhagen K
Téléphone: +45 33 12 85 70
Facsimilé: +45 33 12 93 87
Courrier électronique:
subscription.service@mail.munksgaard.dk
Web site: <http://www.munksgaard.dk>

EGYPTE

The Middle East Observer,
41 Sherif Street, Le Caire
Téléphone: +20 2 3939 732, 3926 919
Facsimilé: +20 2 3939 732, 3606 804
Courrier électronique: fouda@soficom.com.eg

ESPAGNE

Diaz de Santos, Lagasca 95,
E-28006 Madrid
Téléphone: +34 1 431 24 82
Facsimilé: +34 1 575 55 63
Courrier électronique: madrid@diazdesantos.es
Diaz de Santos, Balmes 417-419
E-08022 Barcelone
Téléphone: +34 3 212 86 47
Facsimilé: +34 3 211 49 91
Courrier électronique: balmes@diazdesantos.com
Courrier électronique: librerias@diazdesantos.es
Web site: <http://www.diazdesantos.es>

FRANCE

Nucléon, Immeuble Platon, Parc les Algorithmes
F-91194 Gif-sur-Yvette, Cedex
Téléphone: +33 1 69 353636; Facsimilé: +33 1 69 350099
Courrier électronique: nucleon@wanadoo.fr

HONGRIE

Librotrade Ltd., Book Import
P.O. Box 126, H-1656 Budapest
Téléphone: +36 1 257 7777
Facsimilé: +36 1 257 7472
Courrier électronique: books@librotrade.hu

INDE

Viva Books Private Limited, 4325/3
Ansari Road, Darya Ganj, New Delhi-110002
Téléphone: +91 11 327 9280, 328 3121, 328 5874

Facsimilé: +91 11 326 7224

Courrier électronique:
vinod.viva@gndel.globalmnet.ems.vsnl.net.in

ISRAËL

YOZMOT Ltd., 3 Yohanan Hasandler St.
P.O. Box 56055, IL-61566 Tel Aviv
Téléphone: +972 3 5284851
Facsimilé: +972 3 5285397

ITALIE

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU",
Via Coronelli 6, I-20146 Milan
Téléphone: +39 2 48 95 45 52 or 48 95 45 62
Facsimilé: +39 2 48 95 45 48

JAPON

Maruzen Company, Ltd.
P.O. Box 5050, 100-31 Tokyo International
Téléphone: +81 3 3272 7211
Facsimilé: +81 3 3278 1937
Courrier électronique: yabe@maruzen.co.jp
Web site: <http://www.maruzen.co.jp>

MALAISIE

Parry's Book Center Sdn. Bhd.
60 Jalan Negara, Taman Melawati, 53100 Kuala Lumpur
Téléphone: +60 3 4079176, 4079179, 4087235, 4087528
Facsimilé: +60 3 407 9180
Courrier électronique: haja@pop3.jaring.my
Web site: <http://www.mol.net.my/~parrybook/parrys.htm>

PAYS-BAS

Martinus Nijhoff International
P.O. Box 269, NL-2501 AX The Hague
Téléphone: +31 793 684 400; Facsimilé: +31 793 615 698
Courrier électronique: info@nijhoff.nl
Web site: <http://www.nijhoff.nl>
Swets and Zeitlinger b.v.,
P.O. Box 830, NL-2160 SZ Lisse
Téléphone: +31 252 435 111; Facsimilé: +31 252 415 888
Courrier électronique: info@swets.nl
Web site: <http://www.swets.nl>

POLOGNE

Foreign Trade Enterprise, Ars Polona, Book Import Dept.,
7, Krakowskie Przedmiecie Street,
PL-00-950 Warsaw
Téléphone: +48 22 826 1201 ext. 147, 151, 159
Facsimilé: +48 22 826 6240
Courrier électronique: ars_pol@bevy.hsn.com.pl
Web site: <http://www.arspolona.com.pl>

ROYAUME-UNI

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency
51 Nine Elms Lane, London SW8 5DR
Téléphone: +44 171 873 9090;
Facsimilé: +44 171 873 8463
Courrier électronique: Commands; book.orders@theso.co.uk
Renseignements: ipa.enquiries@theso.co.uk
Web site: <http://www.the-stationery-office.co.uk>

SINGAPOUR

Parry's Book Center Pte. Ltd.,
528 A MacPHERSON Road
Singapore 1336
Téléphone: +65 744 8673; Facsimilé: +65 744 8676
Courrier électronique: haja@pop3.jaring.my
Web site: <http://www.mol.net.my/~parrybook/parrys.htm>

SLOVAQUIE

Alfa Press, s.r.o. Krizkova 9, SQ-811 04 Bratislava
Téléphone/Facsimilé: +421 7 566 0489

Les commandes (sauf les Etats-Unis) 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, P.O. Box 100
A-1400 Vienne
Autriche
Téléphone: +43 1 2060 22529 (or 22530)
Facsimilé: +43 1 2060 29302
Courrier électronique: sales.publications@iaea.org
Web site: <http://www.iaea.org/worldatom/publications>

PROCEEDINGS SERIES

ISOTOPE TECHNIQUES IN THE STUDY OF ENVIRONMENTAL CHANGE
Proceedings of an international symposium
Vienna, 14-18 April 1998
ISBN 92-0-100598-9, ATS2720

TOWARDS LIVESTOCK DISEASE DIAGNOSIS AND CONTROL IN THE 21ST CENTURY

Proceedings of an FAO/IAEA international symposium, Vienna, Austria, 7-11 April 1997
ISBN 92-0-102498-3, ATS1800

RADIOLOGICAL ASSESSMENT REPORTS SERIES

THE RADIOLOGICAL SITUATION AT THE ATOLLS OF MURUROA AND FANGATAUFA
Reports by an International Advisory Group
ISBN92-0-001898-X (Executive Summary, ATS200) ISBN 92-0-101198-9 English and ISBN 92-0-203498-2 French (Main Report, ATS1200) ISBN 92-0-101298-5 English and ISBN 92-0-203598-9 French (Summary Report, ATS280)

RADIOLOGICAL CONDITIONS AT BIKINI ATOLL: PROSPECTS FOR RESETTLEMENT

ISBN 92-0-100398-6, ATS280

THE RADIOLOGICAL ACCIDENT IN THE REPROCESSING PLANT AT TOMSK

ISBN92-0-103798-8, ATS320

THE RADIOLOGICAL ACCIDENT IN TAMMIKU

ISBN 92-0-100698-5, ATS280

SAFETY REPORTS SERIES

LESSONS LEARNED FROM ACCIDENTS IN INDUSTRIAL RADIOGRAPHY
Safety Reports Series No. 7
ISBN 92-0-103098-3, ATS280.

SAFE HANDLING AND STORAGE OF PLUTONIUM

Safety Reports Series No. 9,
ISBN 92-0-102998-5, ATS360

PLANNING THE MEDICAL RESPONSE TO RADIOLOGICAL ACCIDENTS

Safety Reports Series No. 4
ISBN92-0-102598-X, ATS200

DIAGNOSIS AND TREATMENT OF RADIATION INJURIES

Safety Reports Series No. 2
ISBN 92-0-100498-2, ATS280

REFERENCE SERIES

ENERGY, ELECTRICITY AND NUCLEAR POWER ESTIMATES FOR THE PERIOD UP TO 2015
Reference Data Series No. 1
ISBN 92-0-103398-2, ATS120

Tous les prix sont indiqués en ATS (Schillings autrichiens). Pour tout renseignement complémentaire concernant les publications de l'AIEA proposées à la vente, s'adresser à la Division des publications de l'Agence (mél.: sales.publications@iaea.org). Une liste complète des publications de l'Agence est disponible sur le site Internet WorldAtom à l'adresse: <http://www.iaea.org>

Canberra Safeguards Systems...



A World of Support

Safeguards requires experience, reliability, reproducibility, worldwide support and, above all, an understanding of the requirements of the various international and domestic agencies that share a common mission to control the spread of nuclear weapons. Safeguards is an application that requires a company like Canberra – a company that offers, not only the technical expertise, but also the experience and resources necessary to meet our customers' need for integrated and remote safeguards solutions.

The recent addition of the Aquila safeguards product lines of asset tracking devices, seals, and surveillance systems has increased our ability to meet the total needs of our safeguards customers.

Our commitment to nuclear safeguards is total – from portable instruments used to conduct independent verification measurements, to complex unattended safeguards measurement systems used to monitor nuclear material in the world's largest reprocessing plants – from surveillance cameras used to continuously record activities in safeguarded facilities to electronic tags and seals used to prevent undetected tampering of equipment or containers.

For the total solution to your safeguards requirements, contact Canberra to see how...

Real People tackle Real Challenges and offer Real Solutions.



Canberra Industries
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>

With Offices In: Australia, Austria, Belgium, Canada,
Central Europe, Denmark, France, Germany, Italy,
Netherlands, Russia, United Kingdom.

LES PROJETS DE RECHERCHE COORDONNES DE L'AIEA

L'utilisation des techniques nucléaires dans la mise au point de pratiques intégrées de gestion des nutriments et des ressources en eau pour les systèmes agroforestiers

L'agroforesterie est un système d'occupation des sols associant les arbres à divers combinaisons de cultures, pâtures et animaux visant à maximiser le cycle des nutriments et à favoriser la conservation du sol des ressources en eau. Ce projet se concentrera sur les avantages offerts par les arbres en ce qui concerne les nutriments et l'eau dans les systèmes comportant la production de cultures. Les recherches évalueront la contribution des arbres aux économies en azote et carbone des sols dans le temps au moyen de techniques nucléaires. On rassemblera un ensemble minimum de données sur l'eau du sous-sol pour évaluer l'incidence des arbres sur l'eau disponible et l'incidence subséquente de l'eau sur la disponibilité et le cycle des nutriments. Ces informations seront utilisées pour modifier les pratiques de gestion afin d'accroître le rendement l'eau et des nutriments dans les systèmes agroforestiers.

Biodosimétrie par résonance paramagnétique électronique (RPE)

L'objectif consiste à élaborer des méthodes normalisées de biodosimétrie RPE applicables à des procédures comparables et permettant de comparer les résultats. La méthodologie unifiée approuvée devrait paraître sous la forme d'un Rapport de sûreté de l'AIEA en l'an 2000.

Essais de paramètres types nucléaires pour l'évaluation des données nucléaires

Ce PRC a pour objet de produire une collection éprouvée et validée de paramètres d'entrée destinés au calcul des données de réaction nucléaire des modèles nucléaires. Cette collection comprendra tous les paramètres d'entrée pour l'évaluation théorique des sections efficaces de réactions nucléaires pour les applications à basse énergie. Elle sera complétée d'interfaces logicielles standard avec les codes de réaction nucléaire fréquemment utilisés pour faciliter leur utilisation dans les calculs pratiques.

Actualisation des normes relatives aux données de désintégration des rayons X et gamma pour l'étalonnage des détecteurs

Ce PRC a pour objet de constituer une base de données normalisées de haute précision et internationalement reconnues permettant d'améliorer la précision de l'étalonnage des détecteurs dans les domaines des garanties, de l'analyse des matières, de la surveillance de l'environnement, de la médecine, de la gestion des déchets, de la dosimétrie et de la spectroscopie de base.

La dynamique du transport des radionucléides dans les masses d'eau douce

Ce projet étudiera les facteurs qui régissent la migration des radionucléides dans le sol et dans la nappe phréatique et, en particulier, les schémas et paramètres de migration des radionucléides dans divers environnements géochimiques sur une période de temps relativement longue (10 à 50 ans). Il devrait permettre de valider des modèles mathématiques et de concevoir des mesures destinées à prévenir la contamination des masses d'eau douce. Le projet, qui se déroulera de 1997 à 1999, associera des spécialistes d'hydrogéologie nucléaire, des responsables de la qualité de l'eau, des laboratoires de recherche fondamentale et des universités.

Dégradation des propriétés mécaniques et physiques des alliages de zirconium induite par l'hydrogène et par les hydrures

Ce projet a pour but de faciliter l'élaboration et la validation de modèles prédictifs de captage, de redistribution et de précipitation de l'hydrogène, et de fissuration tardive par les hydrures. Il a pour but de favoriser le transfert de savoir-faire, en particulier dans les domaines où une interprétation qualitative et subjective des résultats est requise.

La liste ci-dessus est sélective et provisoire. Pour des renseignements complémentaires concernant les réunions, 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*, et consulter les services WorldAtom de l'AIEA sur Internet à l'adresse suivante: <http://www.iaea.org>. 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 électronucléaire.



COLLOQUES ET SEMINAIRES ORGANISES PAR L'AIEA

Prévus en 1999
(liste partielle)

MAI

Colloque sur les méthodes isotopiques utilisées dans le développement et la gestion des ressources en eau
Vienne (Autriche), 10-14 mai

Colloque international sur les technologies du cycle du combustible à mélange d'oxydes en vue d'applications à moyen et long termes: expériences, progrès et tendances
Vienne (Autriche), 17-21 mai

JUIN

Conférence sur l'amélioration de la sûreté nucléaire en Europe orientale
Vienne (Autriche), 14-18 juin

AOÛT

Colloque international sur les techniques de gestion des déchets radioactifs provenant de centrales nucléaires et d'activités de la partie terminale du cycle du combustible
*Taejon (République de Corée)
30 août-3 septembre*

SEPTEMBRE

Colloque international sur l'utilisation, la sûreté et la gestion des réacteurs de recherche
Lisbonne (Portugal), 6-10 septembre

OCTOBRE

Séminaire international sur les techniques de mutation et la génétique moléculaire pour l'amélioration des plantes tropicales et subtropicales en Asie et dans la région Pacifique
Philippines, 11-15 octobre

Séminaire international sur les garanties renforcées: bilan
Vienne (Autriche), 18-22 octobre

Conférence internationale sur l'irradiation comme moyen d'assurer l'hygiène et la qualité des aliments
Marrakech (Maroc), 18-22 octobre

AIEA BULLETIN

PUBLICATION TRIMESTRIELLE DE
L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Publication de la Division de l'information
Agence internationale de l'énergie atomique
B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche)
Tél: (43-1) 2600-21270
Télécopie: (43-1) 26007
Courrier électronique: official.mail@iaea.org

DIRECTEUR GENERAL: M. Mohamed ElBaradei

DIRECTEURS GÉNÉRAUX ADJOINTS:

M. David Waller, M. Bruno Pellaud,
M. Victor Mourogov, M. Sueo Machi,
M. Jihui Qian, M. Zygmund Domaratzki

DIRECTEUR, DIVISION

DE L'INFORMATION: M. David Kyd

REDACTEUR EN CHEF:

M. Lothar H. Wedekind

SECRÉTAIRES DE REDACTION:

Mme Ritu Kenn

MISE EN PAGE/CONCEPTION:

Mme Ritu Kenn

RUBRIQUE ACTUALITES:

Mme A. Schiffmann, Mme R. Spiegelberg

PRODUCTION: M. P. Witzig, M. R. Kelleher,

M. D. Schroder, M. R. Breitenecker,

M. H. Baumgartner, Mme P. Murray, M. A. Adler,

M. R. Luttenfeldner, M. L. Nimetzki

SERVICES LINGUISTIQUES:

Division des Langues

EDITION FRANÇAISE:

Section de traduction française: 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

EDITION RUSSE: JSC Interdiakkt+, Moscou;

traduction, impression, distribution

PUBLICITÉ

Les annonceurs sont priés d'adresser leur correspondance à la Division des publications de l'AIEA, Unité de vente des publications et de la publicité, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche). Les numéros de téléphone et de télécopie ainsi que l'adresse de courrier électronique sont marqués ci-dessus.

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* 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.

AIEA ÉTATS MEMBRES

1957	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Bolivie	1974
Afghanistan	Saint-Siège	Côte d'Ivoire	Maurice
Afrique du Sud	Sri Lanka	Jamahiriya Arabe Libyenne	1976
Albanie	Suède	République Arabe Syrienne	Emirats Arabes Unis
Allemagne	Suisse	Uruguay	Qatar
Argentine	Thaïlande		République-Unie de Tanzanie
Australie	Tunisie	1964	1977
Autriche	Turquie	Cameroun	Nicaragua
Bélarus	Ukraine	Gabon	1984
Brésil	Venezuela	Koweït	Chine
Bulgarie	Viet Nam	Nigeria	1986
Canada	Yougoslavie		Zimbabwe
Corée, République de		1965	1992
Cuba		Chypre	Croatie
Danemark	1958	Costa Rica	Estonie
Egypte	Belgique	Jamaïque	Slovénie
El Salvador	Cambodge	Kenya	1993
Espagne	Equateur	Madagascar	Arménie
Etats-Unis d'Amérique	Finlande		Lituanie
Ethiopie	Iran, Rép. islamique d'	1966	République tchèque Slovaquie
Fédération de Russie	Luxembourg	Jordanie	1994
France	Mexique	Panama	Iles Marshall
Grèce	Philippines		Kazakhstan
Guatemala	Soudan	1967	L'ex-République yougoslave de Macédoine
Haïti		Ouganda	Ouzbékistan
Hongrie	1959	Sierra Leone	Yémen
Inde	Iraq	Singapour	1995
Indonésie	1960		Bosnie-Herzégovine
Islande	Chili	1968	1996
Israël	Colombie	Lichtenstein	Géorgie
Italie	Ghana		1997
Japon	Sénégal	1969	Lettonie
Maroc		Malaisie	Malte
Monaco	1961	Niger	République de Moldova
Myanmar	Norvège	Zambie	1998
Norvège	Liban		Benin
Nouvelle-Zélande	Mali	1970	Burkina Faso
Pakistan	Zaire	Irlande	
Paraguay		1972	
Pays-Bas	1962	Bangladesh	
Pérou	Arabie Saoudite		
Pologne	Libéria	1973	
Portugal		Mongolie	
République Dominicaine	1963		
Roumanie	Algérie		

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 128 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.
6-22-1 Mure, 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