

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

GORDON LINSLEY ET ANDREW MCEWAN

**P**ar 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)			
		Externe	Inhalation	Ingestion	Total
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 <sup>a</sup>	0,004 <sup>a</sup>
Ingestion: aliments marins	0,0043 <sup>b</sup>	0,00001 <sup>b</sup>
<b>Total</b>	~0,006	~0,005

<sup>a</sup>Une partie indéterminée de cette dose provient des retombées mondiales.

<sup>b</sup>La 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  $1000 \text{ Bq/m}^3$ , 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  $2,4 \text{ mSv}$  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  $10^6 \text{ Bq/m}^2$  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  $0,001 \text{ mSv}$  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  $9 \times 10^{-8}$  et  $9 \times 10^{-6} \text{ Sv/Bq}$ .

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

$100\,000 \text{ Bq}$ , était retenue dans l'organisme, il pourrait en résulter des doses pouvant atteindre, sur la durée d'une vie, environ  $1000 \text{ mSv}$ . 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  $125 \text{ kilotonnes}$  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. □