

La guerre des tortues : culture, guerre et tortues de mer aux Îles Marshall

Regina Woodrom Rudrud^{1}, Julie Walsh Kroeker^{**}, Heather Young Leslie^{**}, Suzanne S. Finney^{*}*

Résumé

Le document qui suit porte sur l'écologie des relations entre êtres humains et tortues marines aux Îles Marshall, sous l'angle de l'anthropologie environnementale, et décrit le contexte et la raison d'être d'un projet qui va être conduit prochainement par les auteurs et l'Institut universitaire des Îles Marshall. Cette étude examinera en particulier :

- 1) la possibilité de prendre les tortues marines pour témoins des risques et dangers encourus par l'homme ;
- 2) la possibilité d'étudier les niveaux de contamination des os et tissus des tortues marines pour en déduire les montants initiaux de substances toxiques introduites dans la zone considérée ;
- 3) la possibilité de déterminer les zones d'habitat affectées par les activités nucléaires à partir des variations chromosomiques induites par la contamination ; et
- 4) les effets des substances toxiques contenues dans l'environnement, par exemple celles résultant de conflits et d'expérimentations d'armes, sur la viabilité de la population de tortues marines, leur importance culturelle et leur intérêt alimentaire pour les populations des atolls.

En outre, le projet étudiera la manière dont cette étude culturelle pourrait servir de point de départ à un programme d'observation des tortues de mer et d'évaluation initiale de la population pour le compte des Îles Marshall. De plus, conformément au concept "*je ilo bok*" — littéralement : "écrire dans le livre" — les chercheurs consigneront les savoirs traditionnels et contemporains des habitants afférents aux aspects culturels, écologiques et sanitaires des tortues marines, décriront les "circuits" des tortues dans les écosystèmes marin et humain (y compris les marchés et les systèmes de troc), compareront les récits et présenteront toutes ces connaissances sous une forme durable (en anglais et en langue des Marshall), pour l'édification des générations présentes et futures.

En se concentrant sur une espèce importante sur les plans culturel, traditionnel et nutritionnel, et en étudiant les risques potentiels qu'encourent ces espèces et les populations humaines qui en dépendent, ce projet permettra à des participants locaux de cerner et d'atténuer ces risques tout en s'initiant à un large éventail de techniques de recherche et d'étude, y compris l'approche holistique de l'anthropologie environnementale.

Depuis les techniques d'étude ethnographique sur le terrain à la biologie des tortues marines en passant par l'archéologie maritime, les enseignements tirés de ce projet à long terme permettront de diminuer la dépendance des Îles Marshall vis-à-vis d'experts extérieurs et de doter une génération future de Marshallais des compétences et débouchés requis pour mener une carrière créative. Le succès de ce projet repose sur l'observation continue et l'analyse de la santé et des effectifs de tortues marines. Cela ne peut se faire sans l'aide d'experts qualifiés issus de la communauté marshallaise, qui prendront le relais pour poursuivre le projet au-delà des opérations décrites ici.

Ce projet permettra d'acquérir des connaissances concrètes sur les risques et dangers encourus par les tortues marines dans le contexte des Îles Marshall et contribuera à définir les moyens de maintenir des traditions culturelles tout en améliorant la santé de la population, au lieu de la détériorer. Les résultats ne sont pas prévisibles, c'est pourquoi cette recherche est nécessaire. On espère pouvoir confirmer que certaines parties de la tortue ne sont pas consommables, contrairement à d'autres, que la consommation réservée à des occasions très particulières (et rares) ne pose pas de problème (par rapport à des expositions de l'ensemble du système), ou que tous les tissus comestibles doivent être évités. Quel que soit le résultat, ce projet permettra de mettre au point des méthodes intéressantes et de cerner les capacités et infrastructures nécessaires aux Marshallais pour tester et surveiller les produits alimentaires locaux.

1. Anthropologue, affaires maritimes et pêche, doctorante, Programme d'anthropologie écologique (océanographie), spécialisée dans la biologie et la conservation des tortues marines, Université de Hawai'i à Manoa, 2424 Maile Way, Saunders Hall 346, Honolulu, Hawai'i 96822-2223. Courriel : ReginalL@hawaii.edu

* doctorante, BAsD

** docteur ès sciences

Introduction

L'un des traits caractéristiques des Îles Marshall est son engagement, tout au long du 20^e siècle et jusqu'à ce jour, dans des guerres et des expérimentations d'armements effectuées par les États-Unis d'Amérique, notamment celles d'armes nucléaires, conduites pendant 12 ans.

Les organismes aquatiques qui habitent un environnement contaminé par la radioactivité reçoivent des radiations alpha, beta et gamma émises par des sources extérieures et intérieures : extérieures lorsqu'elles sont émises par des radionucléides présents dans l'eau, les sédiments et d'autres organismes du milieu, intérieures lorsqu'elles proviennent de nourriture et d'eau ingérées et de radionucléides absorbés par la peau et les organes respiratoires. Bien que la plupart des études d'impact des radiations aient permis de jauger leurs effets au niveau de l'organisme, les évaluations du risque écologique portent généralement sur la viabilité et la survie des populations. Contrairement à celle des humains, la survie des organismes individuels dans la nature ne suscite pas autant de préoccupations. La seule exception concerne celle des espèces menacées ou en voie d'extinction telles que les tortues marines. La pérennité de la population peut alors dépendre de la survie d'un individu (Biayiock et al. 1993).

La longévité des tortues marines, leur fidélité à un site et leur aptitude à survivre à des lésions graves peuvent les rendre vulnérables en cas d'exposition sévère et chronique à des substances contaminantes marines. En outre, en raison de leur position dans la chaîne trophique, les tortues sont sensibles à une contamination à faible dose mais prolongée (Meyers-Shone and Watson 1990). Il a été montré que des tortues trachémydes habitant un réservoir radioactif présentaient des dommages génétiques (mutations) à la suite d'une longue exposition à de faibles concentrations de radionucléides, qui ont une grande durée de vie, notamment du césium 137 (^{137}Cs) et du strontium 90 (^{90}Sr) (Lamb et al. 1991). Des tortues d'eau douce, au bord de cours d'eau contaminés par des produits chimiques et des métaux lourds tels que strontium 90, ^{137}Cs , cobalt 60 (^{60}Co) et mercure, présentaient des ruptures d'ADN à un brin (mutations) (Meyers-Shone and Watson 1990).

D'autres études ont mis en évidence les effets de la contamination par des métaux lourds sur les populations de tortues marines : bioaccumulation de métaux lourds au fur et à mesure que la tortue vieillit (Sakai et al. 2000b), mutation des bébés tortues due à la présence de ^{137}Cs dans des algues et des herbiers marins (Vanda et al. 2006), et produits chimiques affectant la différenciation sexuelle

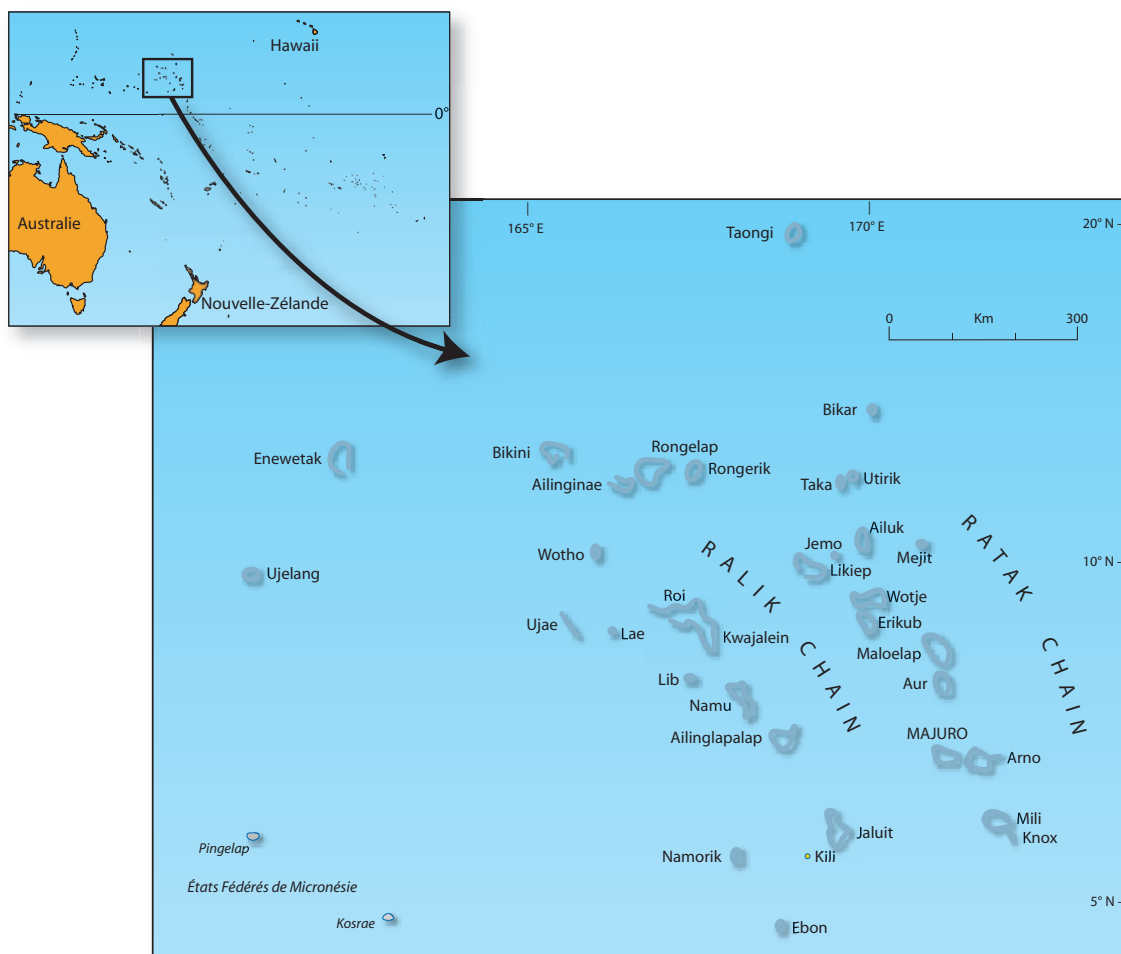


Figure 1. La République des Îles Marshall

de reptiles tels que les tortues marines dont le sexe est déterminé en fonction de la température (Keller and McClenan-Green 2004). Les métaux ont tendance à se concentrer dans le foie, les reins et le muscle (Sakai et al. 2000b) et ont été décelés dans le sang et le tissu de la carapace, reflétant les niveaux constatés dans les organes et tissus internes (Wang 2005; Presti et al. 1999). En outre, une étude récente a montré que, dans de nombreuses zones où des contaminants sont présents, "les niveaux de métaux lourds et de composés organochlorés mesurés dans les tissus comestibles de tortues marines dépassent les seuils d'innocuité alimentaire imposés à l'échelon international et peuvent avoir des effets toxiques : neurotoxicité, maladie rénale, cancer du foie et troubles neurologiques chez les fœtus et les enfants" (Aguirre et al. 2006).

Des rapports concernant la Deuxième Guerre mondiale et la contamination provoquée par les essais d'armes effectués aux Îles Marshall évoquent souvent les niveaux estimés de retombées, les doses attendues et les efforts de dépollution et de réhabilitation. Mais aucun de ces rapports, y compris l'expertise biologique concernant les essais de missiles en cours à Kwajalein, n'a étudié les impacts sur des espèces qui vivent aussi longtemps que les tortues marines (de 50 à 75 ans, voire plus), qui peuvent survivre à des lésions graves (et même la perte d'un membre), et qui manifestent une indéfectible fidélité à leurs sites de nidification, d'alimentation et de repos (les tortues passent souvent la majeure partie de leur vie dans la même zone). Les premières recherches portant sur les types et les quantités de produits contaminants qui se sont déposés (et se déposent) dans l'environnement marin laissent à penser que cette quantité est sans doute aussi grande, sinon plus, que celle des substances toxiques terrestres, surtout si l'on considère les retombées finales du matériel, dont la moitié a pollué les lagons et des zones océaniques.

Guerre et essais d'armes aux Îles Marshall

Avant d'examiner l'ampleur passée (ou présente) de la contamination marine, il est bon de rappeler ce qui s'est passé aux Îles Marshall, ainsi que les déclarations faites par certains militaires qui ont participé aux essais et aux travaux de nettoyage.

La Deuxième Guerre mondiale

Au cours de la Deuxième Guerre mondiale, les combats livrés pour reprendre les Îles Marshall aux Japonais ont laissé les îles à l'état de terrain vague, dévasté par les bombes et débris. Les Japonais possédaient des installations militaires sur douze atolls ; toutes ont été fortement bombardées par les forces américaines. Sur les fortifications principales de Mili (*Mile*), (*Wōjijā*, *Wūjajae*, *Ujajae*), Jaluit (*Jālōoj*, *Jalwoj*) et Maloelap, 15 288,70 tonnes de bombes et d'obus navals ont été déversées. "Selon un rapport secret des États-Unis, établi après la prise de l'atoll de Kwaja-

lein (Îles Marshall) par les Américains, près de 50 % des obus navals n'ont pas explosé en touchant le sol, observation confirmée par une déclaration du commandant de la garnison japonaise faite après la reddition de Taroa" (Kamada 1947 cité dans Spennemann 2006). De plus, plusieurs atolls occupés par les Japonais, une fois les installations anti-aériennes évacuées, ont été utilisés comme terrains d'entraînement pour les nouveaux pilotes qui se rendaient sur d'autres zones, et comme terrains d'essais pour tester l'efficacité de nouveaux types d'armes : napalm (testé à partir de la fin de 1944), roquettes (à partir du milieu de 1945) et autres matériels (le bombardier de combat a été mis au point ici) qui ont tous contribué à la charge de munitions non explosées. "Malgré un premier nettoyage et plusieurs missions ultérieures d'enlèvement des munitions, il en reste beaucoup sur les îles." (Spennemann 2006:235). Les auteurs du présent document n'ont pas trouvé de documents concernant le sort des engins non éclatés dans les lagons et les mers côtières, mais nous pouvons déduire du rapport précité qu'il reste probablement de très grandes quantités de matériel.

À la fin de la guerre, les États-Unis avaient chassé les Japonais des Îles Marshall à la suite d'une série de combats aériens, navals et terrestres, mais les dégâts environnementaux se perpétuèrent (ADB 2001). De la guerre subsistèrent des tanks, des armes, des munitions, du carburant abandonnés et d'autres substances dangereuses, ainsi que des épaves et des cargaisons de bateaux et d'avions coulés. "L'essence, les produits chimiques et les munitions non explosées encore à bord de ces bateaux constituent un danger grave et imminent pour les personnes, l'environnement marin et côtier et les ressources halieutiques de la région" (SPREP 2002:5). L'essence a des effets mortels et graves sur la faune et la flore et altère les espèces comestibles (SPREP 2002).

Essais nucléaires après la Deuxième Guerre mondiale²

Le 2 mars 1944,³ le Territoire des îles du Pacifique sous tutelle des États-Unis d'Amérique (voir paragraphes suivants) a vendu Enewetak (*Anewetak*, *Eniwetak*, *Eniwetok*) aux États-Unis pour la somme de 10 dollars É.-U. (GTTP 1944). Le 6 août 1945, les États-Unis ont lâché la première arme nucléaire jamais utilisée à des fins militaires sur la ville japonaise d'Hiroshima ; trois jours après, ils ont largué la seconde bombe sur Nagasaki. Ces événements ont eu des conséquences spectaculaires pour les Îles Marshall. En novembre 1945, les États-Unis ont lancé l'opération CROSSROADS⁴, campagne visant à déterminer comment des troupes, des navires et d'autres matériels militaires survivraient à une attaque nucléaire, et à rechercher un site d'essai. En janvier 1946, la marine américaine annonça que l'atoll de Bikini (*Pikinni*) remplissait les conditions requises. Le chef de Bikini donna son accord, déclarant : "Si les États-Unis d'Amérique et les scientifiques du monde entier veulent utiliser notre île et notre atoll au profit du développement, ce qui, avec l'aide de Dieu, débouchera

2. Les informations fournies dans le chapitre suivant proviennent, sauf indication contraire, du Ministère de l'énergie (DOE) des États-Unis d'Amérique. 1982. Marshall Islands: A Chronology 1944-1981. Department of Energy Document 2UF890.m35 c.1. Document téléchargeable depuis l'adresse : <http://worf.eh.doe.gov/ihp/chron/A27.PDF>

3. Cette date se réfère probablement au premier accord passé entre les habitants des Marshall et les forces militaires, car il existe une note manuscrite à ce propos, indiquant "enregistré le 20 juin 1957 à 09h00".

4. Voir les séquences de films rayés de la liste de sécurité concernant toutes les opérations d'essais nucléaires à l'adresse : The Internet Archive: Universal Access to Human Knowledge: [http://www.archive.org/search.php?query=%22marshall islands%22](http://www.archive.org/search.php?query=%22marshall%20islands%22)

sur l'amitié et la prospérité du genre humain, mon peuple sera heureux d'aller vivre ailleurs." (Mason 1954)

Résultat de l'opération et de l'incapacité de la marine de décontaminer les vaisseaux ciblés : 23 épaves contaminées par la radioactivité vinrent couler dans les eaux de l'atoll de Bikini et 41 épaves radioactives, dans celles de Kwajalein (*Kuwajleen*) (Carrell et al. 1991; Delgado et al. 1991; Weitz et al. 1982; USGAO 1985). À la suite de l'explosion sous-marine de Baker, près de la moitié des produits de fission de la bombe restèrent dans les eaux du lagon (LANL 1946; Fee 1946; Schubert and Lapp 1957). "De grandes quantités de substances radioactives" furent trouvées au fond du lagon de Bikini (Berkhouse et al. 1984:159). Des études ultérieures montrèrent que certains organismes marins peuvent concentrer des produits de fission d'un facteur égal à 100 000 fois la dose normale dans leur environnement (Hacker 1987 cité dans Weisgall 1994). Des produits de fission ont été observés dans des poissons, des bécards, des escargots, des huîtres, des coraux, des éponges, des poulpes, des crabes, des oursins, des holothuries, des langoustes, des crevettes et des algues du lagon. De nombreux poissons évoluant dans l'angle nord-ouest du lagon ont été tués par les explosions (Berkhouse et al. 1984).

"On m'a appelé pour aller éteindre un incendie sur le porte-avions *Independence*, l'un des bateaux ciblés. Nous y sommes allés trois fois... Juste après, nous sommes tous allés nager dans le lagon... Il y avait des tas de poissons morts, tout autour..." (Smitherman 1983).

Le 18 juillet 1947, les Îles Marshall devinrent une zone stratégique placée sous la tutelle des États-Unis d'Amérique, selon un accord passé avec le Conseil de sécurité des Nations Unies, et les îles ont été placées sous l'administration de la marine des États-Unis d'Amérique (USDOE 1982). À la fin de cette année, des travaux furent entrepris pour aménager l'atoll d'Enewetak en second site d'essai.

" En arrivant à Enewetak, nous avons fait le tour de l'île principale et trouvé un certain nombre de cartouches tirées et de douilles laissées sur place après la bataille livrée pour reprendre l'atoll... il y a bien longtemps. En plus, l'île était encombrée d'engins de construction de tous genres : bulldozers, grues, racleuses, etc. Peu de temps après, tous ces engins disparurent ; ils avaient été coulés en mer. On nous dit que cela aurait coûté trop cher de rapatrier tout cela par bateau à Hawaii ou sur le continent." (Oakes 2002).

En avril 1948, l'opération SANDSTONE — menée pour faire des essais visant à améliorer les armements — débuta à Enewetak. Trois autres bombes atomiques explosèrent.

"L'amiral ordonna que la cargaison d'un ancien navire échoué au large de la rampe et de la piste soit poussée dans l'eau par un bulldozer, et recouverte de sacs de ciment, de coraux et de sable. Durant cette opération, j'ai assisté à la destruction d'au moins deux générateurs diesel de 74 kW tout neufs." (Johnson 2004).

"Au moment de quitter Enewetak (à la fin de l'opération SANDSTONE), nous avons coulé pour des milliers de dollars d'équipement dans le lagon." (Scott 2001).

"Pratiquement tout le fer disséminé sur les îles est radioactif, du fait de la capture de neutrons et/ou de la contamination par des produits de fission. Ce fer sera recueilli et déversé du côté extérieur du récif de l'atoll" (Snapp 1949).

Cette série d'essais fut suivie de l'opération GREENHOUSE, menée pour tester les effets des armes et les améliorations à apporter. Trois autres armes ont été testées à l'aide de GEORGE, dispositif destiné à tester les capacités de thermofusion d'isotopes d'hydrogène.

"Avant notre arrivée à Enewetak, le Q.G., 7^e brigade du génie, groupe opérationnel 3.2, nous avait prévenus que : "À certaines heures, beaucoup de poissons de notre zone sont très toxiques. Le poison n'a aucun goût, et il n'y a pas moyen de dire quels sont les poissons toxiques. À partir de notre arrivée à Enewetak, les hommes n'ont pas eu le droit de se baigner, ni même de barboter... le risque de contamination par l'eau provenant des premiers essais de bombe atomique réalisés entre 1946 et 1948 subsistait toujours" (Ingram 2001).

"J'ai aussi contrôlé les avions-robots (drones) qui avaient traversé les nuages radioactifs... Ils étaient fortement irradiés en revenant de l'explosion... Un drone B-17 marqué de la lettre "M" (des initiales étaient peintes sur la queue des bombardiers) s'est écrasé sur l'île... J'ai suivi cet avion depuis le point d'atterrissage jusqu'au site du crash. J'y suis resté trois heures et n'ai permis qu'à un personnel autorisé de se rendre sur le site. Des échantillons ont été prélevés sur l'épave, et l'appareil a ensuite été poussé dans l'océan" (McMurtry 1995, cité dans Campbell non daté).

Une fois l'opération GREENHOUSE terminée, la Commission de l'énergie atomique des États-Unis tenta de réduire la radioactivité résiduelle sur Enewetak en déversant au bulldozer la saleté des zones de tir dans l'océan. "Je pense souvent au matériel, aux véhicules, aux avions, aux revêtements de pistes en acier déversés au bulldozer dans l'océan" (Palmer 2001). À la fin de 1952, la Commission signala que Bikini "restera très probablement inhabitable du point de vue radiologique" (Dean 1952).

En novembre 1952, l'opération IVY commença sur Enewetak, qui prévoyait l'essai de MIKE, la première bombe thermonucléaire, d'une puissance 750 fois supérieure à celle de la bombe larguée sur Hiroshima et dégageant plus d'énergie que toutes celles des essais précédents, y compris celles de l'Union soviétique. MIKE pulvérisa littéralement l'îlot de Flora (*Elugelab, Bokombako*) et creusa un cratère de 1,5 km de diamètre et de plus de 50 m de profondeur dans le corail (Noshkin 1978). Ujelang (*Wūjlañ, Ujla*) fut contaminé par les retombées de KING (USDOE 1982). Chacun de ces essais

provoqua d'énormes vagues d'eau contaminée qui déferlèrent sur les îlots adjacents (Noshkin 1978).

L'opération CASTLE se déroula du 1er au 15 mars 1954 sur les atolls d'Enewetak et de Bikini. Elle prévoyait l'explosion de six bombes à hydrogène, notamment BRAVO, une bombe expérimentale de 15 mégatonnes qui donna lieu à l'incident le plus grave d'irradiation de tout le programme d'essais nucléaires des États-Unis d'Amérique (USDOE 1982). "Un rapport de la Commission de l'énergie atomique des États-Unis daté de 1955 et récemment rayé de la liste des documents secrets, rend compte des niveaux de radiation sur TOUS les atolls et dépendances des Îles Marshall après l'essai Bravo et d'autres essais de cette série" (Breslin et Cassidy 1955, cité dans Watkins et al. 2006:5). Le seuil actuel et les critères de nettoyage prescrits par l'Agence des États-Unis d'Amérique pour la protection de l'environnement (EPA), adoptés par le *Nuclear Claims Tribunal* s'élèvent à 15 mrem⁵ par an — ce chiffre a été dépassé sur chaque atoll, rien que lors de l'opération CASTLE (Watkins et al. 2006).

L'essai réalisé le 6 mars sur Rongelap (*Roñlap*) pour étudier les doses de rayons gamma a provoqué une dose estimée à 37 500 000 mrem heure⁻¹. Sur Utrik, elle était de 4 000 000 mrem heure⁻¹, et sur Bikar (*Pikaar*), un îlot inhabité, de 16 000 000 mrem heure⁻¹. En outre, on a trouvé du plutonium (voir note i à la fin de l'article) dans des échantillons d'urine prélevés sur des habitants de Rongelap et une dose de 90 Sr (voir note ii à la fin de l'article) a été décelée sur cette île.

"Le problème, c'est qu'en quelques minutes, les particules de l'explosion ont couvert le bateau. Il y avait du sable, du corail et des algues partout sur le pont d'envol, les coursives, les tubes de canon et toutes les zones exposées" (Summers 2002). "... À la surface de l'eau sont apparus divers débris, ainsi que des poissons morts et une écume blanchâtre, probablement du corail pulvérisé" (Bass 2003). "Ce dont je me souviens le mieux, c'est de l'aspect de la mer après la détonation. Elle avait l'air crayeuse, laiteuse, bouillonnante. Une détonation, en particulier, avait eu lieu près d'un atoll. Après le tir, nous nous sommes approchés, et le spectacle reste gravé dans ma mémoire : on aurait dit que la mer était en ébullition" (Williams 2000). "Peu après l'explosion, nous sommes passés en avion au-dessus du point zéro, à 3 000 m je pense. L'eau bouillonnait encore sur un diamètre de plusieurs kilomètres" (Hasty 2004). "L'océan était couvert de feuilles, de morceaux de bois et d'écorce. Il était envahi de débris sur des kilomètres à la ronde" (Long 2001). "Des palmiers entiers avaient été soufflés, ils flottaient partout ; partout, des poissons morts et des débris. C'était vraiment incroyable, quel spectacle terrible pour nous tous !" (Kosted and Kosted 1997).

"Deux jours après, nous sommes revenus sur notre île témoin (Eneu). Le niveau de radiations était encore beaucoup trop élevé pour que le personnel y reste. Des bulldozers furent amenés pour gratter la surface du sol, qui contient le plus de matériaux irradiés, et pousser ceux-ci dans la mer" (Clark 1957).

Le 26 avril 1954, ce fut au tour d'UNION d'exploser, et Bikini, Ailinginae (*Aelōñinae*, Ailinginae), Rongelap (*Roñlap*), et Rongerik (*Roñdik*) reçurent de fortes retombées ; le 5 mai 1954, l'essai YANKEE provoqua de fortes retombées mesurées sur Bikini, Ailinginae, Bikar (*Pikaar*), Rongelap et Rongerik.

En juin 1954, on constata que la contamination sur Bikini était 130 fois la normale, à 500 kilomètres du lagon, et une équipe japonaise trouva des contaminants dans l'eau de mer et la faune et la flore marines à 1 800 km à l'ouest (USDOE 1982). Le 14 septembre 1954, des poissons des lagons de Bikini et d'Enewetak furent jugés trop radioactifs pour la consommation humaine, et, le 30 janvier, on releva des taux de radioactivité dangereux sur des coquillages et des crabes de Rongelap.

En mars 1955, un an après l'opération BRAVO, une enquête menée par le *Naval Radiological Defense Laboratory* (NRDL) et l'*Applied Fisheries Laboratory* (AFL) américains indiquèrent que "des quantités significatives de contamination radioactive" avaient été constatées sur des animaux, des végétaux destinés à l'alimentation, dans l'eau et le sol. Les plus fortes concentrations se trouvaient dans les spécimens marins, qui contenaient du zirconium 95 (95Zr) (voir note iii à la fin de l'article), du niobium 95m (95Nb), du ruthénium 106 (106Ru), et du rhodium 106 (106Rh).

"Naturellement, des altérations profondes ont déjà touché la faune du lagon de Bikini, et, peu après mars, des poissons fortement contaminés ont été prélevés dans le lagon de Rongelap" (Nichols 1944).

L'opération REDWING, consistant dans 17 essais d'armes nucléaires, a été conduite entre le 4 mai et le 21 juillet 1956. Elle a entraîné la contamination de poissons de récif à Rongelap et Ailinginae. On a aussi relevé une irradiation du plancton, de l'eau et des poissons près de Bikini et Enewetak, et des retombées ont été enregistrées sur l'île Parry et sur Enewetak.

"11 juillet [1956], 13h00 : Ai pénétré au centre de la zone d'explosion, quel spectacle autour de Bikini : palmiers, feuilles, plantes, poissons morts, oiseaux éparpillés sur l'eau, alors que l'explosion s'est produite à 14 km de toute terre. Elle a été déclenchée par télécommande, à bord d'une barge, dit-on. On ne nous a pas laissé débarquer, à cause de la radioactivité. Des requins et des barracudas

5. Un millirem est une unité de dose de rayonnement absorbé équivalent à un millième de rem (équivalent-homme de Roentgen). Mesure l'ampleur des dommages infligés aux tissus humains par une dose de radiation ionisante. Le risque biologique d'exposition à la radiation est mesuré par le rem (ancienne unité) ou le sievert Sv (unité du système international) (CDC 2003).

se sont mis à nettoyer les poissons morts... 12 juillet 1956, Bikini : Avons débarqué sur Enyu. Quel chaos ! L'explosion s'est produite à 32 km de l'atoll. Beaucoup d'arbres avaient été soufflés et un bateau coulé lors d'une explosion atomique, en 1947, s'était échoué sur le rivage. Des marines en assuraient la garde, et il était couvert de corail et de cambouis. Il y avait des poissons et des requins partout. 13 juillet : Pêché toute la journée et n'ai rien pris. La bombe a réellement tout gâché" (Mead 2000). "Je me souviens m'être baigné dans le lagon ; l'eau était claire comme du cristal, et on voyait jusqu'au fond, la plupart des bénéitiers étaient morts. Leur coquille était ouverte" (Long 1998). "Les noix de coco et les poissons n'étaient pas comestibles, ils avaient été contaminés par les essais de bombes atomiques et à hydrogène. La forme des noix de coco avait muté et ressemblait à des bananes, mais avec une coquille dure comme les noix de coco" (Francis 1999).

Juillet 1957 : Les arbres et les plantes de Rongelap étaient qualifiés de "mutants" en raison de leurs fleurs et branches supplémentaires et les anomalies de leur tronc — atrophié, ou "épais, enflé", couvert de verrues cancéreuses (Held 1959:43 cité dans Johnston et Barker 2001:33). "Les gens ont été intoxiqués par des espèces de poissons qui ne causaient jamais ce type d'empoisonnement auparavant, par exemple *iol* (mulet) et *malok*. Avant les essais, seul le *jujukop* (barracuda) était une source d'ichtyosarcotoxicisme (Johnston and Barker 2001:34). De fortes concentrations de ^{60}Co ont été relevées sur des bénéitiers (voir note iv à la fin de l'article).

En mai 1958, l'opération HARDTACK I fut entreprise pour mettre au point les armes proprement dites et mesurer les effets de l'explosion et des radiations. Cette série de 35 essais incluait les essais sous-marins WAHOO et UMBRELLA. WAHOO explosa en pleine mer, à grande profondeur, au sud-ouest de Boken Island, et UMBRELLA dans l'extrémité occidentale du lagon d'Enewetak.

L'essai MAGNOLIA aggrava la contamination d'Ujelang. MAPLE, sur Bikini, aggrava celle d'Ailinginae et Wotho (*Wōtto*). Au cours de l'essai de QUINCE sur Runit, seul l'élément hautement explosif de la bombe fut mis à feu. Il en résulta une dispersion du combustible nucléaire au plutonium sur une vaste partie de l'île (Noshkin 1978). Pour préparer l'opération FIG, prévue 12 jours plus tard sur le même site, de 7 à 12 cm de sol contaminé par le plutonium furent évacués du site par bulldozer et déversés dans le lagon, au large du centre de l'île (US DNA 1981 cité dans Noshkin 1997; US DOE 1982 cité dans Noshkin et Robinson 1997).

"Lors de la détonation d'OAK, je me suis retourné pour voir la colonne d'eau jaillir du lagon. C'était si gigantesque que personne ne parlait. Au bout de quinze à vingt minutes, l'eau du lagon se mit à se retirer, jusqu'à ce que le fond du lagon soit dénudé sur près de 200 m du rivage... La bombe avait formé une colonne qui aspirait toute l'eau du lagon sur

24 km à la ronde... Quand l'eau a commencé à revenir, je me suis senti mal... L'eau du lagon avait pris une vilaine couleur chocolat au lait..." (Mace 2003). Un grand entonnoir formé d'eau, de sable et de roches coralliennes s'élevait depuis le fond du lagon. Sur les bords du nuage, on voyait de gros morceaux de roches coralliennes enflammées qui retombaient sur l'eau (Hampton 2004). "Peu de temps après, nous nous sommes rendus sur le point zéro, et avons récupéré des bouées en fibres de verre surmontées d'antennes. En nous rapprochant de la zone cible, nous avons été stupéfaits de voir du poisson cuit flotter." (Wixon 1999). "Des filets étaient installés ; si nous voulions nager, nous n'avions pas à nous soucier des requins, mais je n'ai jamais vu un seul poisson, à part les poissons mort qui flottaient après l'explosion d'une bombe, et des méduses partout" (Clayton 2007).

Radiations

La fin des essais nucléaires ne signifiait en rien la fin de leurs effets sur l'environnement marin. En 1994, le Service géologique des États-Unis d'Amérique publia une synthèse des articles techniques consacrés aux radionucléides dans l'environnement et à leurs effets sur les poissons, la faune sauvage, les invertébrés et d'autres ressources naturelles (Eisler 1994). Plusieurs aspects de ce rapport s'appliquent ici.

"Les retombées peuvent persister plusieurs années après qu'une explosion ait envoyé de la matière dans l'atmosphère... Des fortes doses de radiations ionisantes ont des effets biologiques sur les molécules, les cellules, les organes tissulaires, l'animal tout entier, la population, la communauté et l'écosystème. Parmi les effets négatifs des radiations ionisantes il faut généralement compter la mort des cellules, la réduction de l'espérance de vie, les troubles génésiques, l'augmentation de la fréquence des tumeurs malignes, des mutations génétiques, la leucémie, l'altération de la fonction de barrière hémato-encéphalique, le ralentissement de la croissance et les troubles du comportement. Dans l'ensemble, la dose la plus faible pour laquelle on a observé des effets nocifs d'une irradiation chronique observée de manière crédible chez des espèces sensibles est d'environ 1 Gy par an. En cas d'exposition prolongée, elle est d'environ 0,01 Gy. Les radiations ionisantes peuvent être nocives pour les organismes marins et soit entraîner leur mort, soit se traduire par une diminution de leur vitalité, de leur longévité normale, par une diminution du taux de reproduction et par la transmission de gènes altérés par les radiations "très fréquemment récessifs, et presque toujours au détriment des porteurs" (Bowen et al. 1971 cité dans Eisler 1994). Eisler (1994) a également constaté que les lésions subies par des organismes marins du fait de radiations importantes n'avaient jamais été étudiées.

En 1961, on a découvert à Rongelap des poissons portant des "taches noires" sur l'abdomen. En février 1962, la charge connue en radioisotopes incluait aussi les éléments suivants : ^{95}Zr - ^{95}Nb , ^{103}Ru et 106 - ^{103}Rh et 106 , tungstène 181 et 185 (^{181}W t ^{185}W), ^{65}Zr et ^{137}Cs (voir

note v à la fin de l'article). On a trouvé des concentrations accrues de fer 55 radioactif (^{55}Fe) dans le foie de rougets (Beasley et al. 1970 cité dans Johnston and Barker 2001).

Selon une enquête menée en août 1964, tous les spécimens d'invertébrés marins contenaient du ^{60}Co , principal radionucléide présent dans l'environnement marin. On a également trouvé du manganèse 54 radioactif (^{54}Mn) dans tous les échantillons, et du ^{106}Ru et de l'antimoine 125 (^{125}Sb) dans la nappe phréatique, le sol, des animaux et des végétaux. Du bismuth 207 (^{207}Bi) (durée de demi-vie : 38 ans ; voir note vi à la fin de l'article) et du cérium 144 (^{144}Ce) ont été décelés dans les algues marines, les sols et les végétaux terrestres. La dose de fer 55 était relativement élevée chez les vertébrés, et du plutonium 239 (^{239}Pu) a été trouvé dans le sol et dans la peau de rats et d'oiseaux (Welander 1969 cité dans Eisler 1994). En 1965, des tests ont montré que le ^{137}Cs , qui émet des rayons gamma à long terme, avait pénétré dans le sol de tous les atolls exposés, obstacle au repeuplement des atolls.

Une étude conduite en 1969 par Held a révélé qu'il n'y avait toujours pas de différence mesurable entre les taux de radionucléides enregistrés en 1967 et en 1969 chez les animaux marins comestibles, et que ces valeurs n'allaient pas changer. En outre, Held a constaté une concentration croissante de certains radionucléides au fur et à mesure que les poissons et bœufiers vieillissaient, ainsi qu'un accroissement au fur et à mesure de leur remontée dans la chaîne trophique. Les sites de nourriture des animaux sont également un facteur à prendre en considération : les tissus de ceux qui se nourrissent au fond contenaient dix fois plus de ^{60}Co que les herbivores ou les animaux se nourrissant de plancton. Pour la première fois, il a été observé que l'argent 108m (^{108m}Ag , période radioactive = 418 ans) était présent, associé à des retombées, dans l'hétopancréas de langoustes (Held 1969).

En octobre de cette même année, la Commission américaine de l'énergie atomique (AEC) publia une étude sur les radiations atmosphériques à Enewetak. L'île de Runit, site de 18 essais nucléaires, et contaminée par de fortes concentrations de plutonium non explosé, a été mise en quarantaine pour une durée de 140 000 ans. La Commission localisa sur Runit les zones de contamination superficielle par le plutonium : couche de sable porteur de plutonium affleurant du côté de la mer, au milieu de l'île, grains de sables contenant des fragments de plutonium à la surface de l'île, débris métalliques contaminés sur l'ensemble de l'île. Le plus troublant, c'est que l'on a trouvé également une forte contamination due à des rayons alpha, qui, une fois qu'ils ont pénétré les tissus, sont les plus nocifs des trois types de radiation (alpha, beta et gamma). L'année suivante, les États-Unis ont proposé de déverser la terre et les débris radioactifs provenant des autres îlots d'Enewetak dans le cratère creusé sur l'île de Runit. Les matières radioactives seraient ensuite coulées dans du ciment pour former un dôme massif de béton. En réponse, l'Agence de protection de l'environnement (EPA) a déclaré : "Il faut admettre le

fait que l'enfouissement dans le cratère n'est qu'une solution semi-permanente" (USDOE 1982: 25).

"Il faut prévoir que d'infimes quantités de plutonium s'échapperont de la formation géologique (le dôme de Runit). Elles seront toutefois restreintes et peu significatives par rapport aux quantités déjà présentes dans le lagon" Defense Nuclear Agency, EIS, avril 1975 (USDOE 1982: 34).

Près de vingt ans après l'arrêt des essais, on a constaté que les niveaux de radioisotopes sur Bikini étaient supérieurs à ceux jamais enregistrés auparavant. Les taux de plutonium 239 et 240 mesurés avaient été multipliés par cinq. En 1976, les taux de ^{239}Pu et ^{240}Pu avaient doublé par rapport à ceux de 1971 sur Rongelap, Rongerik, Ailuk (*Aelok*), Wotje et Utirik (*Utrök*).

En mai 1977, les États-Unis commencèrent à nettoyer Enewetak, ainsi qu'ils l'avaient proposé. Cette opération permit d'éliminer 114 000 m³ de débris "non contaminés" qui ont été déversés dans l'océan, et près de 90 000 m³ de sol superficiel et de débris contaminés par le plutonium et d'autres radionucléides — noyés dans le cratère de Runit et scellés par une chape de ciment.

"Je me souviens de certaines idées qu'ont eues nos supérieurs pour le transport de ces tonnes de sols irradiés sur une autre île, de manière à pouvoir les déverser dans un vaste trou et couler une chape par-dessus. À notre grande surprise, nous aurions eu une grande barge au milieu du lagon, pour déverser ces sols dans le lagon une fois que nous aurions nettoyé une grande partie de la terre d'une île contaminée" (Celestial 2000).

"Nous aurions rapporté tous les débris métalliques à Medren, puis en aurions fait une énorme pile que des bateaux japonais seraient venus prélever ; ou bien nous les aurions déversés dans le lagon, dans la partie la plus profonde. Nous pensions que c'était une idée contre-productive, mais malgré tout, nous nous sommes contentés de faire ce que l'on nous disait. Une de nos tâches, l'une des plus pénibles et détestables, consistait à ramasser des copeaux de métal sur les plages d'une petite île. Nous y allions toute la journée pour remplir des sacs de sable avec ces morceaux de la taille de 25 ou 50 cents, puis nous chargions ces sacs sur le LARC 60, un gros véhicule amphibie de l'armée de terre, et les basculions par-dessus bord à notre retour sur l'île principale. Pendant la nuit, les vagues déferlaient sur la plage et mettaient au jour d'autres copeaux. On avait envie de crier, parce qu'il fallait tout recommencer le lendemain" (Jackson 2005).

6. Lorsqu'une personne est exposée à une radiation, de l'énergie se dépose dans les tissus de l'organisme. La quantité d'énergie déposée par unité de poids de tissu humain s'appelle la dose absorbée. Celle-ci se mesure en rad (ancienne unité) ou en Gy (unité SI). Le rad est l'ancienne unité de mesure, remplacée par le Gy (gray). Un Gy est égal à 100 rad (CDC 2003).

“Je fus ensuite muté à Eniwetok pour travailler à Medrain avec les nageurs de combat de la marine pour renflouer les restes de camions et autres équipements qui avaient été poussés dans les chenaux, entre les îles. Ces métaux étaient chargés sur des barges pour être transportés sur Runit ou être balancés dans les profondeurs, au centre du lagon” (Savage 2001).

Pendant ce temps, on a constaté que des puits, à Bikini, contenaient du ^{90}Sr ; selon le laboratoire Lawrence Livermore, le lagon d'Enewetak serait le plus grand réservoir de transuraniens (voir note vii à la fin de l'article) de l'atoll, sans que l'on doive s'attendre à une évolution au cours des prochaines décennies.

Une enquête conduite sur l'atoll d'Enewetak au milieu des années 70 a permis de conclure que des mesures destinées à réduire la contamination de la chaîne trophique marine par le plutonium auraient peu d'effet, en raison de la grande durée de radioactivité du plutonium, qui resterait présent dans l'environnement marin bien après que les autres grands radionucléides se soient désintégrés (Wilson et al. 1975).

Les tissus de spécimens de poissons d'Ailinginae, Rongerik et Utirik contenaient des radionucléides (Nelson 1977). Du cobalt 60 et du fer 55 prédominaient dans le milieu marin de Rongelap (USDOE 1977). Noshkin (1978) a observé que, du fait du taux élevé de dépôt de radioisotopes dans l'environnement marin, Enewetak était devenu sa propre source de transuraniens, car les radioisotopes sont constamment volatilisés, en suspension dans l'air, assimilés et transférés par des processus physiques, chimiques et biologiques. Un autre rapport publié cette même année fait état de très fortes concentrations de plutonium dans les arêtes, les viscères et les œufs de poissons (Robinson et al. 1978).

Vingt ans après l'arrêt des essais nucléaires (août 1978), les États-Unis ont admis que dix autres atolls — Ailinginae, Ailuk, Bikar, Jemo (*Jāmō*), Likiep, Mejit (*Mājeej*), Rongerik, Taka (*Tōke*, *Tōkā*), Ujelang, et Wothe — étaient exposés à des retombées intermédiaires. Un an après, le Département de l'intérieur indiqua : “D'après les nouvelles données, l'île de Bikini ne pourra pas être utilisée par les habitants pendant trente ans au moins, voire soixante ans. L'île d'Eneu doit être mise en quarantaine pour 20 à 25 ans encore.” C'est cette année là que le dôme de Runit fut terminé, et déclaré extrêmement radioactif et dangereux pour les 24 000 années à venir (Rowa 2006).

“J'ai eu le plaisir de nager dans l'un des grands cratères creusés par les bombes. Je pense que c'était celui qui a été comblé, ses dimensions semblent être les mêmes : 9 m de profondeur et 105 m de diamètre. Il y avait un cratère plus petit à côté, mais nous y avons repéré un requin très affamé. Dans le cratère où nous avons nagé se trouvaient des créatures marines mutantes, c'est-à-dire beaucoup plus grosses que celles qui évoluent dans le lagon. Dans le lagon, les oursins sont de la taille d'une balle de baseball, environ 15 cm de long ; or, dans le cratère, les mêmes oursins étaient de la taille d'une balle de volley ball, avec des épines de plus de 30 cm de long. De même pour les anémones de mer : elles étaient beaucoup plus grandes dans le cratère” (Ingram 2002).

“De la végétation poussait sur Runit, comme sur les autres îles, mais à côté des cratères jumeaux, certaines lianes étaient orange..” (Collins 2000).

En 1979, les niveaux de radioactivité dus à l'américium 241 (^{241}Am) (voir note viii à la fin de l'article) dans le lagon d'Enewetak étaient de 20 à 25 pour cent supérieurs à ceux qui avaient été mesurés auparavant. En 1985, il fut découvert que les niveaux moins élevés de sédiments dans le lagon (20 cm de moins) contenaient des taux élevés de radioisotopes qui étaient redistribués dans les eaux du lagon sous l'action de crevettes fouisseuses (Crustacea: *Thalassinidea*) (McMurtry et al. 1985).

En 1991, le Service des parcs nationaux américains, Unité des ressources culturelles submergées, étudia les niveaux de radioactivité résiduels sur les vaisseaux coulés dans l'atoll de Bikini, lors de l'opération CROSSROADS, afin de déterminer les risques posés par l'ouverture de la zone à la plongée de loisir, soit 44 ans après CROSSROADS et 32 ans après le dernier essai effectué à Bikini (Delgado et al. 1991).

Les radionucléides présents dans les sédiments du lagon et sur les îles étaient ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{239}Pu , ^{240}Pu et ^{241}Am . En outre, on a trouvé couramment de l'euprotactinium 155 (^{155}Eu) et du ^{207}Bi dans les sédiments du lagon, mais pas sur les îles (Delgado et al. 1991; Jernström et al. 2005; Unterweger 2002).

Les concentrations de ^{137}Cs allaient de 100 pCi kg^{-1} à l'extrémité sud du lagon à 10 000 pCi kg^{-1} dans la partie nord-ouest du lagon.⁷ Les concentrations de ^{60}Co étaient

7. On utilise des unités de mesure différentes selon l'aspect des radiations mesurées. Ainsi, la quantité de radiation émise par une matière radioactive est mesurée par l'unité conventionnelle le curie (Ci), d'après le nom de la célèbre savante Marie Curie. Quand on parle de la quantité de radiation émise, on utilise l'unité de mesure classique, le Ci, ou l'unité SI, le Bq (Becquerel).

Un atome radioactif émet de la radioactivité parce que le noyau a trop de particules, trop d'énergie ou trop de masse pour être stable. Le noyau se fractionne, ou se désintègre, en essayant de parvenir à un état non radioactif (stable). À mesure que le noyau se désintègre, il libère de l'énergie sous forme de radiation.

On emploie le Ci ou le Bq pour exprimer le nombre de désintégrations d'atomes radioactifs dans une matière radioactive pendant une certaine période. Ainsi, un Ci équivaut à 37 milliards (37×10^9) de désintégrations par seconde. Le Ci est désormais remplacé par le Bq. Un Bq étant l'équivalent d'une désintégration par seconde, un Ci égale 37 milliards (37×10^9) de Bq. On peut employer le Ci ou le Bq pour mesurer la quantité de matières radioactives libérées dans l'environnement. (CDC 2003).

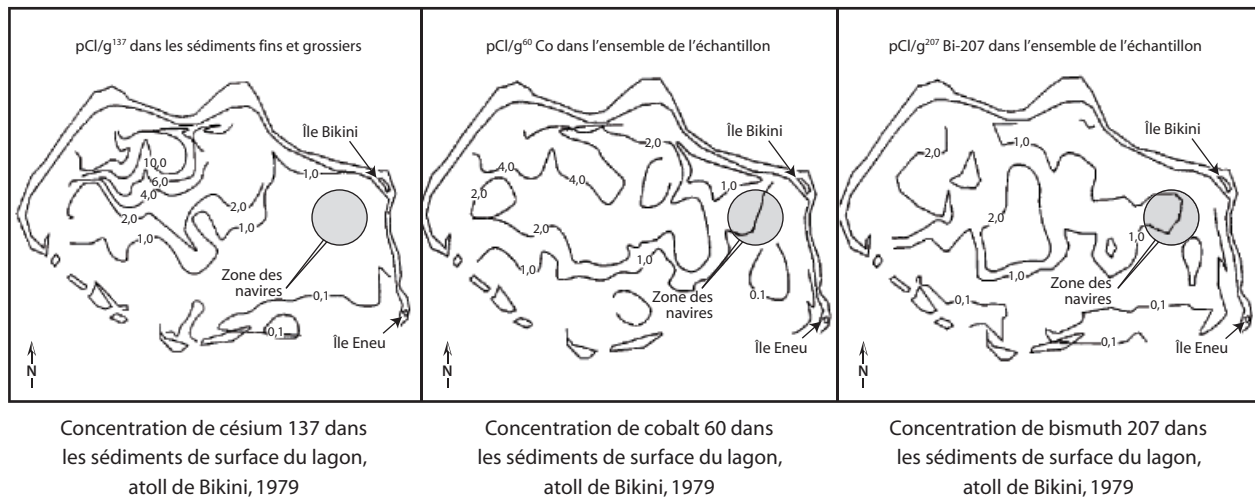


Figure 2. Concentrations de ^{137}Cs , ^{60}Co et ^{207}Bi dans les sédiments de l'atoll de Bikini en 1979 (Source: Delgado et al. 1991:191-193).

comprises entre 100 et 4 000 $pCi\ kg^{-1}$ et celles de ^{207}Bi entre 100 et 2 000 $pCi\ kg^{-1}$ (Fig. 2) (Delgado et al. 1991).

Les niveaux enregistrés dans la zone où mouillaient les bateaux cibles ont été jugés inoffensifs pour les plongeurs, car les rayons gamma qu'ils émettent se diluent à mesure qu'ils évoluent dans l'eau, au point d'être négligeables lorsqu'ils atteignent la profondeur choisie pour la plongée de loisir. Le rapport ne contient aucune référence aux émissions de particules alpha ou bêta.

D'autres études menées à Enewetak en 1997 ont révélé que les quantités de plutonium présentes dans le lagon se renouvelaient en permanence, en raison de la remobilisation de cet élément dans la colonne de sédiments et des suintements provenant du cratère de Runit, et "dissimulaient, de plusieurs ordres de grandeur", les quantités totales de matières radioactives enfouies sous le dôme. Par ailleurs, les concentrations de transuraniens dans les poissons se sont révélées être au même niveau que lorsqu'elles avaient été mesurées, avant le nettoyage, vingt ans auparavant (Noshkin et al. 1997).

Robinson et al. (1998) se sont penchés, en particulier, sur les produits de fission radioactive et les produits activés sous forme de particules, ainsi que sur les combustibles nucléaires radioactifs non brûlés ayant pénétré le milieu marin. Ils ont découvert, en 1998, que les sédiments et les eaux des lagons de Bikini et d'Enewetak contenaient encore des centaines de milliards de becquerels (Bq) de radionucléides.

Johnston et Barker (2001:35-37) fournissent des informations complémentaires sur la pollution radioactive du milieu marin tout en mettant l'accent sur Rongelap :

"... Des chercheurs de l'université de Washington qui ont étudié les effets des radiations sur l'environnement à Rongelap ont décelé les concentrations de radiations les plus élevées chez les espèces de poissons herbivores et omnivores tels que le perroquet (Donaldson 1950 DOE #340:145). Des augmentations de la radioactivité bêta brute chez les poissons ont été enregistrées à Rongelap entre 1954 et le mois de mars 1958 (Palumbo 1959 DOE #292; UW 1958 DOE #312)..."

Sur la base des taux de radiation relevés parmi les populations aviaires, des chercheurs américains ont conclu que la zone de pêche située au sud de Rongelap, où des populations humaines avaient été réinstallées, affichait des taux de concentration supérieurs à ceux observés chez les poissons dans les îles du nord, interdites d'accès... Les oiseaux du sud de Rongelap avaient également des taux de radioactivité plus élevés que les oiseaux du nord de Rongelap (AFL 1955 DOE #342). Selon ces chercheurs, cette découverte "inattendue" de "taux de radioactivité plus élevés dans les tissus des populations aviaires du sud laisse à penser que la réserve alimentaire marine située au sud de Rongelap affiche un taux de radioactivité supérieur à la moyenne par rapport à celui mesuré au nord". (AFL 1955 DOE #342:43)...

Des chercheurs américains ont observé le plancton marin en haute mer afin de déterminer son rôle dans le transfert de la radioac-

tivité dans la chaîne trophique marine (Université de Californie, DOE #34:17 non daté). Ils ont constaté que le plancton était "l'indicateur le plus sensible de la radioactivité en mer". (Seymour et al. 1957 DOE #332:55). Les données relatives à la radioactivité du plancton ont été jugées "représentatives de celles disponibles pour l'ensemble des chaînes alimentaires marines" (Palumbo and Lowman 1958 DOE #348:64). L'étude portant sur une zone de l'océan Pacifique de 5 000 km environ a "révélé la présence de radioactivité dans les échantillons de plancton prélevés à chaque station" (Seymour et al. 1957 DOE #332:9).

En 1958, des chercheurs de l'Université ont découvert que les poissons pouvaient présenter des taux de radioactivité "mille fois supérieurs à la normale" en raison du plancton radioactif qu'ils consomment (Palumbo and Lowman 1958 DOE #348:59)... Ils ont également constaté que "le lagon avait tendance à piéger la radioactivité dans son système de circulation" (auteur non identifié 1961 DOE #380:85) et que cette radioactivité se concentrait dans les couches inférieures du lagon, là où les poissons, comme l'esturgeon, accumulent de fortes concentrations de césium (auteur non identifié 1961 DOE #380:118).

... Il fallut attendre 1962 pour observer, à Rongerik, "les niveaux les plus élevés de radioactivité bêta brute dans des échantillons d'algues, de foie et de muscles de poissons ainsi que de muscle d'holothurie" (Donaldson 1962 DOE #299:11).

Les habitants de Rongelap ont constaté que de nombreuses espèces de poissons qui ne provoquaient aucun empoisonnement avant les essais nucléaires sont devenues toxiques par la suite, certains l'étant à certains endroits, mais pas à d'autres. Certains scientifiques ont évoqué un rapport entre l'ichthyosarcotisme et les essais nucléaires, d'autant plus que des récifs endommagés abritent des quantités anormalement élevées de plancton *Gambierdiscus toxicus*, dinoflagellé qui produit la ciguatoxine. Les poissons qui se nourrissent sur les récifs ingèrent ce plancton, les ciguatoxines s'accumulent dans ces poissons qui, à leur tour, sont mangés par des poissons de plus grande taille qui concentrent dans leur chair la ciguatoxine. Les personnes qui consomment ces poissons souffrent de vomissements, de diarrhées, et de vertiges. Cette maladie peut, dans de rares cas, être mortelle. Les Îles Marshall et la Polynésie française (où la France teste ses armes nucléaires) sont les régions du Pacifique où le taux d'ichthyosarcotisme est le plus élevé (Ruff 1989 cité dans May 1989:249).

Dans le cadre de l'enquête radiologique nationale menée aux Îles Marshall au milieu des années 90, des milliers d'échantillons de terre,

de végétaux et, parfois, d'organismes marins ont été prélevés dans tout le pays, et les résultats des analyses ont confirmé la présence de niveaux dangereux de radioactivité sur des douzaines d'îles.

L'année dernière (2006), les données issues de l'enquête radiologique terrestre ont été ajustées pour l'année 2005 et ont révélé la persistance de niveaux dangereux de 137Cs dans une vingtaine d'îles (tableau 1) (Watkins et al. 2006). Il faut rappeler ici que la dose limite actuelle et les critères de nettoyage spécifiés par l'Agence américaine pour la protection de l'environnement, adoptés par le *Nuclear Claims Tribunal*, est de 15 mrem par an pour tous les radioisotopes. En 2005, ce chiffre a été dépassé sur tous les atolls, rien que par le 137Cs.

Les auteurs du présent document n'ont trouvé aucune donnée actualisée sur la contamination résiduelle du milieu marin mais, en raison de la longévité des transuraniens dont la demi-vie ($T_{1/2}$) est évaluée à des centaines, voire des milliers d'années, comme dans le cas de 108mAg, 238+239Pu et 241Am qui ont été décelés dans l'environnement marin, nous considérons que la majeure partie de la pollution subsiste à ce jour.

Expériences conduites après la période des essais nucléaires

L'opération HARDTACK a marqué la fin des essais nucléaires américains, mais pas celle des armes. En 1959, Kwajalein a été choisi comme site d'essais anti-missiles du programme NIKE-ZEUS, et l'île de Roi Namu a été choisie comme centre d'étude de la phase de rentrée des missiles dans l'atmosphère. Dans les années 60, le lagon d'Enewetak a été choisi comme cible et zone d'impact des missiles balistiques intercontinentaux tirés de la base aérienne de Vandenberg en Californie (Rowa 2006). En 1964, une série d'essais débute en vue de tester un système conçu pour abattre les satellites soviétiques.

"En été 1968, le Deseret Test Center a réalisé une série d'essais connus sous le nom de "DTC Test 68-50" à bord du Granville S. Hall, ancré au large de l'atoll d'Eniwetok. Cette série de tests prévoyait la dispersion de "PG" — entérotoxine staphylococcique de type B (SEB) — dans l'atmosphère, toxine susceptible de provoquer une intoxication alimentaire incapacitante se traduisant par des symptômes grippaux parfois mortels pour les enfants en bas âge, les personnes âgées et celles affaiblies par une longue maladie. L'entérotoxine B staphylococcique a été épandue sur une grille sous le vent de 40 à 50 km et, selon le rapport final, une seule arme aurait suffi à couvrir 2 400 km²" (Johnston and Barker 2001:31).

Par ailleurs en 1968, l'armée de l'air américaine a utilisé des explosifs brisants afin de tester, à Enewetak, un moteur de fusée dotée d'un étage supérieur à grande puissance énergétique. L'explosion a contaminé Engebé en dispersant une importante quantité de béryllium, substance hautement toxique (voir la note x à la fin de l'article) (Dickman 1972).

Tableau 1. Niveaux de césium radioactif (^{137}Cs) en 2005, en mrem par jour (Source: Watkins et al. 2006)*
[322: (Simon and Graham 1994); 323: (Mauro et al. 2002)].

Source	Étude radiologique nationale 322 (1994)				Rapport SC&A 323 (1994)	
	2484 kcal jour ⁻¹ 75% de produits locaux		2484 kcal jour ⁻¹ 18% de produits locaux		3208 kcal jour ⁻¹ 100% de produits locaux	
Exposition prévue	Faible	Élevée	Faible	Élevée	Faible	Élevée
Bikini-Bikini	16	1600	80	400		
Nord de Rongelap	120	800	40	240		
Enewetak-Enjebi	63	400	16	160		
Rongelap	40	240	12	80		
Bikini	40	240	12	80		
Rongerik	40	240	12	80		
Sud de Rongelap	40	240	12	80		
Nord de Enewetak	32	200	12	60		
Enewetak-Aoman	24	160	7.9	40		
Enewetak	16	120	6.3	40		
Bikini-Eneu	16	120	6.3	40		
Enewetak-Bijiri	12	90	5.6	32		
Enewetak-Lojwa	12	90	5.6	32		
Ailinginae	7	60	1.6	16		
Utrik	5	50	1.6	12		
Enewetak-Runit	5	50	1.6	12		
Ailuk	2	16	1.6	8	5	22
Mejit	1.6	12	0.6	5	5	21
Likiep	0.2	2	0.2	2	5	21
Wotje	0.2	2	0.2	2	4	18

* Valeur ajustée pour l'année 2005 en utilisant la demi-vie du césium 137, estimée à 30 ans.

Les essais dénommés PACE (*Pacific Cratering Experiments*), qui ont débuté en septembre 1971, ont utilisé plus de 220 tonnes d'explosifs acheminés vers l'atoll afin de simuler des détonations de bombes nucléaires. En avril 1972, les États-Unis d'Amérique ont annoncé qu'ils cesseraient d'utiliser Enewetak dès la fin de l'année 1973 — après avoir terminé certains essais non spécifiés qui prévoyaient notamment 190 forages sur terre et dans les récifs pour placer des charges explosives dans 86 fosses et faire détonner 6 t d'explosifs. Les essais d'armes que les États-Unis effectuent en permanence font également partie de l'impact militaire actuel sur les Îles Marshall. Les expériences liées à la mise en place d'un bouclier antimissiles, parfois appelé "Guerre des étoiles" ou "Fils de la guerre des étoiles", se poursuivent à ce jour sur l'atoll Kwajalein au site d'essais de missiles balistiques Ronald Reagan dépendant du Ministère de la défense. Plus de 113 missiles et 66 fusées ont

été tirés de Kwajalein depuis que le site a été réquisitionné en 1959 (Parsch 2002-2004, Wade 1997-2007).

"À l'époque nous n'avions pas encore de téléviseurs, nous passions parfois notre temps assis sur la langue de sable nord... Car c'était la meilleure place pour observer la rentrée dans l'atmosphère du cône de charge utile des missiles balistiques intercontinentaux lancés depuis la base aérienne Vandenberg... Avant 1996, l'intercepteur Zeus des forces armées était lancé de Launch Hill situé à l'extrême sud de Kwajalein... Le spectacle ressemblait à un brillant faisceau lumineux cataclysmique bien plus intense que les feux d'artifice du 4 juillet auxquels j'ai eu l'occasion d'assister. Parfois, le faisceau était d'une telle puissance qu'il était

possible de le photographier en utilisant la durée d'exposition d'une pellicule couleur. Nous n'étions pas censés nous trouver à l'extérieur de nos maisons en béton, au cas où des débris seraient retombés du ciel. Toutefois, cette règle n'a jamais été respectée, et il y avait toujours environ 500 personnes sur la langue de sable à chaque fois qu'un missile de la base Vandenberg amorçait sa descente" (Sims 1999–2007).

La Deuxième Guerre mondiale, les essais nucléaires, les essais d'armes chimiques et biologiques, les essais de missiles, les essais de tir de fusées ainsi que les essais d'armes de pénétration ont été et restent particulièrement destructeurs pour l'environnement marin des Îles Marshall. Enewetak est l'exemple le plus éloquent de cette destruction, puisque cinq îles — Bokombako (Elugelab), Louj (Lidilbut), Bokaidrik, Boken (y compris un petit îlot sans nom situé à l'ouest de Boken) et Eleleron — ont été partiellement ou complètement pulvérisées (Rowa 2006).

"Quelques jours plus tard, nous avons regagné le site pour constater qu'une partie de l'atoll avait disparu et avait été remplacée par un gigantesque cratère. On dit que la bombe avait une puissance de 10 mégatonnes. Jamais je ne voudrais revivre cela" (Guido 2001).

"Après l'explosion, les îles où la détonation s'était produite avaient disparu, parties en fumée, il ne restait plus rien" (Marquez 2007).

"Lorsque je suis retourné à Hickam, nous avons survolé le site d'essais que j'avais vu auparavant lorsque la tour de 30 mètres était en construction. Le violet intense de l'océan entourait la barrière de corail, tandis qu'à l'intérieur de celle-ci, les eaux peu profondes étaient d'un vert pâle. La tour de 30 mètres érigée sur cette petite île n'existait plus, pas plus que l'île qui l'abritait ! Il ne restait plus qu'un cratère de ce même violet des profondeurs océanes qui entouraient la barrière ! À bord de l'avion, nous avions tous les yeux rivés sur ce cratère" (Sapp 2000).

Toutes ces activités ont provoqué l'immersion d'une grande quantité de matériels tels que : équipement militaire, munitions non explosées, épaves et avions coulés, ainsi que des débris radioactifs. Jusqu'à présent, ces éléments n'ont pas été répertoriés.

Tortues marines

Penchons-nous maintenant sur les raisons pour lesquelles les tortues marines sont particulièrement sensibles à ces sources de contamination. Les tortues marines, en particulier les tortues vertes (espèce la plus abondante aux Îles Marshall), se nourrissent de certains végétaux (algues et herbes) qui accumulent les métaux et les substances radioactives dans leurs tissus. Le risque particulier qu'encourent les tortues provient de la charge des munitions non explosées, du nombre d'épaves et autres matériels coulés, des retombées des essais d'armes nucléaires sur l'ensemble de l'archipel, et des menaces écologiques passées et actuel-

les résultant des essais permanents effectués à Kwajalein et des activités de cette base (du fait, en particulier, des substances toxiques contenues dans la chaîne trophique récifale et marine, telles que le perchlorate, principal ingrédient des propergols solides), sans oublier les dépôts radiogéniques présents dans les sédiments du lagon.

En 1952, des chercheurs américains ont publié pour la première fois des rapports indiquant que le perchlorate inhibait la fixation d'iode chez les sujets testés des Marshall. Des études consacrées aux séries d'essais de 1953 faisaient état d'une accumulation biologique dans les organismes vivants (Atkins non daté, cité dans Johnston 2003; Atkins et al. 1974 cité dans Johnston 2003). En 2001, le Ministère américain de la défense a relevé une contamination par le perchlorate dans l'alimentation en eau et l'écosystème récif corallien/lagon à Kwajalein et autour (USAF et al. 2001 cité dans Johnston 2003).

"Lorsqu'on examine les recherches conduites aux Îles Marshall par les Américains, on est choqué d'apprendre, notamment, que le Ministère américain de la défense a établi des dossiers, certes dispersés, mais approfondis, sur les risques toxiques non radiogéniques résultant des essais militaires. Or, à ma connaissance, aucune évaluation exhaustive des effets de ceux-ci sur l'environnement n'a jamais été entreprise. Les substances toxiques sont nombreuses, et elles ont de graves effets, surtout sur les populations exposées aux radiations et dont le système immunitaire est compromis" (Johnston 2003).

En 1989, une équipe de plongeurs de la marine a prélevé des échantillons d'algues sur plusieurs bateaux cibles coulés (Delgado et al. 1991) et les a analysés pour déterminer leur concentration en radioisotopes (tableau 2).

On a écarté le risque encouru par les plongeurs que constitueraient les niveaux de l'ensemble des substances contaminées, notamment les doses extrêmement élevées de ^{241}Am et de $^{239+240}\text{Pu}$, parce que la radiation émise est totalement absorbée dans quelques millimètres d'eau à peine, distance minimale à laquelle se tiendrait un plongeur par rapport à la source radioactive. Ce seuil n'existe pas pour les tortues marines qui dévorent régulièrement des organismes vivant sur les épaves elles-mêmes, par exemple les algues et les éponges. C'est le plutonium $^{239+240}$ et ^{241}Am qui constituerait le risque le plus élevé d'exposition par inhalation dans les sédiments du lagon qui ont été dérangés (Delgado et al. 1991). Cette piste est probablement importante pour les tortues qui se nourrissent d'organismes benthiques tels qu'invertébrés, coquillages et herbes.

Les niveaux de radioisotopes dans la zone des bateaux ciblés coulés dans le lagon de Bikini ont été jugés non dangereux pour les plongeurs parce que les rayons gamma émis se diluent au fur et à mesure qu'ils descendent dans la colonne d'eau, et qu'ils seraient négligeables une fois la profondeur de plongée de loisir atteinte. Ces restrictions, liées à la profondeur et au site (les épaves au large de Bikini), ne sont pas applicables à la population de tortues marines car les fissures et anfractuosités des épaves

Tableau 2. Concentration en radioisotopes d'échantillons d'algues prélevés sur des bateaux coulés dans le lagon de Bikini en pCi kg⁻¹ (Delgado et al. 1991).

Bateau	60Co	137Cs	90Sr	155Eu	270Bi	241Am	239+240Pu
<i>Gilliam</i>	<10	<10	11	<190	<10	3450	4140
<i>Pilot Fish</i>	360	110	121	90	420	90	108
<i>EOD Collection Pilot Fish</i>	240	140	154	150	500	2300	2760
<i>Carlisle</i>	490	80	88	<40	470	1400	1680
<i>Saratoga</i>	200	470	517	<290	180	<400	480
<i>Arkansas</i>	380	140	154	170	490	1700	2040
<i>Nagato</i>	410	260	286	170	290	3300	3960

N.B.: Pour la combinaison 238+239Pu + 241Am, le DIL valable pour tous les composants du régime alimentaire est de 54 pCi kg⁻¹.
DIL = niveau d'intervention dérivé recommandé par la Commission américaine de réglementation en matière d'énergie nucléaire

et autres matériaux coulés constituent des sites de repos idéaux, et les habitats de nourriture et de repos ne se limitent pas à la partie sud du lagon.

Il est important de noter que les tortues marines sont fidèles à leurs sites de repos et de nourriture (c'est-à-dire qu'elles restent ou reviennent indéfiniment sur le même site). Celles qui se reposent sur des matériaux toxiques ou qui s'en nourrissent peuvent donc l'avoir fait tous les jours pendant plusieurs décennies (selon l'âge de la tortue). Comme nous l'avons indiqué précédemment, le facteur qui limite l'occupation et la consommation d'aliments terrestres du fait des taux de radioisotopes est la présence continue, à des taux élevés, de 137Cs, radio-nucléide de grande durée de vie, dans le sol des atolls, et l'on relève en permanence du 137Cs et du 90Sr dans la partie de la nappe phréatique constituée d'eau douce sur tous les atolls contaminés" (Robinson et al. 2003). De ce fait, la consommation de nourriture poussant dans le sol des îlots les plus fortement contaminés a été restreinte et plusieurs atolls (Rongelap, Rongerik et Ailinganae) classés "sites de collecte interdite". Là encore, il faut souligner que les tortues de mer ne respectent pas ces restrictions. En creusant le sable sur une épaisseur de quelques centimètres pour pondre leurs œufs et en respirant avec une grande énergie pour ce faire, les tortues de mer peuvent inhaler de grandes quantités de particules remises en suspension. Tous les sites indiqués précédemment, classés premier, deuxième et troisième en fonction du nombre de nids de tortues, sont contaminés par ces éléments radioactifs, parfois à des doses extrêmement élevées (figure 3).

Ce point est également important, car il s'avère que les œufs de tortues absorbent des substances contaminantes présentes dans l'environnement des nids, généralement situés à quelques centimètres de profondeur dans le sa-

ble, au-dessus de la laisse de haute mer ; certaines espèces telles que les tortues imbriquées, nidifient jusqu'aux limites de végétation (Acuna et al. 1999; Campos et al. 1996).

Par ailleurs, plusieurs îlots du nord des atolls, où le niveau de contamination est élevé, ont été décrétés réserves de tortues marines par les chefs coutumiers, les tortues étant nombreuses sur ces sites : Taongi (*Bok-ak*, Bokak, Pokak, Pokaakku), Bikar, Taka, Erikub (*Ādkup*, Erikup), et les atolls Ailinginae, île de Jemo Island, Wōnwōt (*Wōnoot*) et Pekram (*Pekdam*) dans l'atoll de Kwajalein, l'îlot Lijeron (*Ledjiok*) de Jaluit, et plusieurs îlots inhabités d'Enewetak (Tobin 1952; Lessa 1984; Fosberg 1990). Lorsque l'équipe chargée d'évaluer les ressources nationales a mené son enquête sur l'atoll de Rongelap (*Roñlap*) en 2003, elle a constaté que "les récifs étaient pour la plupart à l'état vierge ; un grand nombre de poissons, coraux, algues et autres espèces étaient présents en abondance. Elle a également trouvé des poissons de grande taille ciblés par les pêcheries, et enregistré une abondante mégafaune telle que tortues de mer, baleines et raies" (NRAS 2003). Grâce à leur capacité exceptionnelle de survivre à d'énormes lésions qui entraînerait la mort d'êtres humains — la perte d'un membre ou de parties du torse, par exemple — l'abondance d'une population de tortues de grande taille ne signifie pas pour autant que celles-ci n'ont pas souffert des conséquences de la Deuxième Guerre mondiale ni des essais d'armements. Il est parfaitement possible que des tortues qui vivaient à cette époque soient encore en vie aujourd'hui, après avoir subi des doses d'exposition élevées ainsi qu'une exposition chronique à des doses plus faibles, au fur et à mesure de la dilution et de la décroissance de la radioactivité. La découverte d'abondances similaires dans le reste des zones contaminées précitées où ont toujours évolué de grandes quantités de tortues marines, cela pourrait avoir de grandes conséquences si l'on constatait que la contamination, sur ces atolls, s'atta-

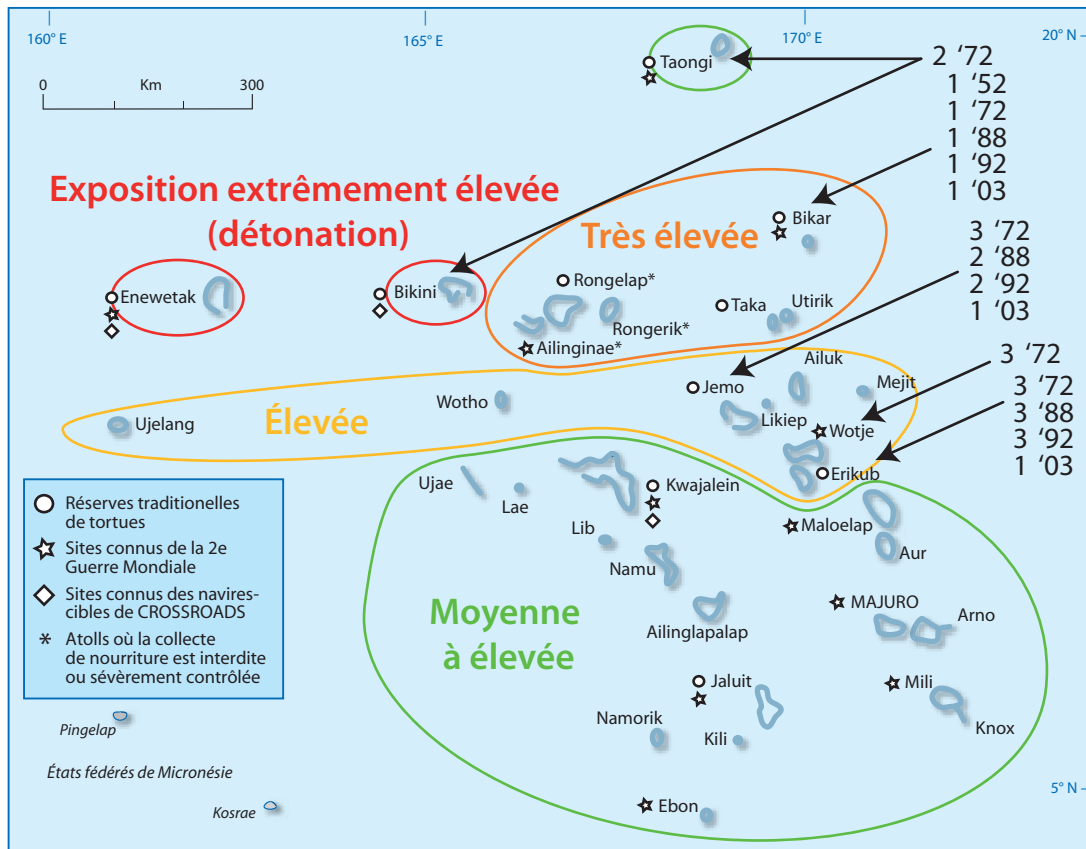


Figure 3. Classement des atolls en fonction du nombre de nids de tortues marines cités dans des études précédentes. Schéma établi à partir des sources suivantes : Tobin 1952; Thomas 1989; Maragos 1988; Fosberg 1990; Puleloa et Kilma 1992; McCoy 2004; les chiffres relatifs aux doses sont extraits du tableau 2.

que aux tissus des tortues qui naissent, se nourrissent et se reposent sur ces sites et qui migrent dans les eaux du pays et de la région.

La contamination de la chair et des œufs de tortues marines et les risques sanitaires pour les populations humaines qui les consomment ont été bien décrits. Yasumoto (1998) signale un cas d'intoxication mortelle causé par la consommation d'une tortue verte qui s'était elle-même nourrie d'algues cyanophytes contaminées. L'intoxication humaine due à la consommation de tortues imbriquées, vertes, luths, caouanes et olivâtres sur une période de 65 ans s'explique par la toxicité des aliments consommés par les tortues (Robinson 1999 cité dans Strainchamps 2000). Ranaivoson et al. (1994) rapportent que six personnes sont décédées en cinq jours après l'ingestion d'une tortue en mauvaise santé. "Des observateurs ont indiqué que la tortue présentait des signes de faiblesse au moment de sa capture ; lors de sa découpe, elle présentait un contenu stomacal moins important que d'habitude ; les viscères dégageaient une forte odeur d'urée et d'urine, et la chair était exceptionnellement molle" (Ranaivoson et al. 1994:1).

Il ne faut pas oublier la mise en quarantaine de l'îlot Runit, l'énorme charge en transuraniens dans le lagon d'Enewetak et la mise en quarantaine des îlots nord de nombreux atolls. Les niveaux de produits contaminants sur ces sites n'ont pas été déterminés en vue de limiter la consommation d'espèces marines, les enquêteurs ayant jugé que les espèces testées n'étaient pas migratrices, et estimé les doses nocives à partir des tissus "comestibles". Nous émettons trop de doutes quant à la validité de cette conclusion pour en faire état ici, mais il faut souligner que la nature migratrice des tortues marines et le fait que les Marshallais consomment ces animaux en totalité, et non certaines parties (les femmes sucent même la moelle des os) mettent en cause la pertinence de cette conclusion. Ni le site d'évolution des espèces marines, ni leur brève durée de vie, ni les tissus comestibles testés jusqu'à présent ne sont des critères applicables aux tortues marines, qui peuvent tout à fait nidifier, se nourrir et se reposer dans ces zones fortement contaminées, et y passer peut-être 98 % de leur très longue vie.

Il importe aussi de déterminer le niveau de substances contaminantes qui subsistent aujourd'hui dans l'environ-

nement, ainsi que leur durée de radioactivité résiduelle. Aucun de ces critères n'est applicable à la population de tortues marines, car il se peut qu'une partie du stock actuel d'adultes en âge de se reproduire ait été en vie au moment des essais nucléaires (qui ont pris fin il y a cinquante ans), voire de la Deuxième Guerre mondiale (il y a 65 ans), la longévité des tortues marines étant fréquemment estimée à 50-75 ans, voire plus — la population de tortues vertes de Hawaii, par exemple, n'atteindra pas l'âge de la première reproduction avant 30 ans ou plus (Zug et al. 2002).

Conclusion

Nous affirmons qu'il est indispensable de conduire des recherches plus approfondies. Nous estimons en effet qu'il est fort probable que des substances toxiques subsistent dans l'environnement des Îles Marshall, et qu'elles contaminent les tortues marines en raison de la grande longévité de celles-ci (qui sont exposées, pendant 50 ans et plus, à des radiations à faible dose et à d'autres substances contaminantes), de leurs habitudes normales (fidélité à certaines zones de repos, repos sur des équipements coulés tels que des épaves irradiées, notamment, fidélité à certaines zones de nourriture, et consommation, par plusieurs espèces, d'organismes tels que des algues et des éponges qui poussent sur des surfaces toxiques), du développement et de la métamorphose de ses embryons qui ont lieu à quelques centimètres de la surface de sable contaminé. Nous pensons en outre que, du fait de la nature migratrice et des habitudes de reproduction des tortues marines, dont les zones de nidification sont souvent à des milliers de kilomètres des zones de nourriture et de développement, la menace éventuelle qui pèse sur les populations de tortues marines est peut-être d'envergure régionale, et non strictement limitée à l'environnement des Îles Marshall. Enfin, nous estimons que, les animaux ayant très probablement subi les mêmes événements liés à la guerre et aux essais d'armements que la population humaine, sinon plus, les tortues marines sont peut-être des témoins fiables permettant de déterminer avec exactitude les contaminants initiaux, ultérieurs et persistants présents à l'époque et aujourd'hui encore. Les résultats de ces recherches intéresseront non seulement les Marshallais, mais aussi toutes les nations où l'habitat des tortues marines a subi les conséquences de la guerre et des essais d'armes nucléaires, notamment les États-nations de Kiribati (essais effectués par le Royaume-Uni et les États-Unis d'Amérique) et l'Australie (essais du Royaume-Uni), ainsi que le Territoire de la Polynésie française (essais de la France).

Résumé du projet : première phase

La première étape du projet, essentielle à son bon déroulement, consiste dans le recueil de connaissances auprès de la population locale, afin de bien comprendre les relations complexes existant entre les aspects culturels, écologiques, historiques et économiques du contexte actuel, qu'il importe de prendre en compte avant toute intervention. Nous commencerons par cerner, dans le pays, les zones où nous conduirons nos recherches en priorité, là où évoluent des tortues marines et où des ressources culturelles ont été coulées. Pour ce

faire, nous recueillerons des informations auprès des habitants. En outre, il est indispensable de bien comprendre les intérêts, les pratiques et aspirations de la population si l'on veut conserver et gérer efficacement les ressources. À l'heure actuelle, malgré les mesures de protection des espèces menacées prises à l'échelon national et international, les tortues marines restent, aux yeux des populations des atolls, des sources de nourriture prestigieuses, convoitées et qui jouent un rôle important dans les cérémonies ; la science internationale, relativement nouvelle, de la conservation des tortues marines, n'est pas en contradiction avec l'intérêt que les Marshallais portent traditionnellement aux tortues de mer ni avec l'usage qu'ils en font. En tant qu'aliment existant sur place, jouissant d'un immense prestige pour des raisons culturelles, en tant que précieux article d'échange (alimentaire et artisanal) et espèce qui inspire aux populations un sentiment d'appartenance, les tortues marines sont chères au cœur des Marshallais. Or, les tortues marines présentent elles-mêmes des risques ; elles appellent la plus grande prudence (contamination possible), des mesures axées sur la conservation, et sont menacées d'extinction.

Les Îles Marshall ont réuni des informations ethnographiques concernant l'importance des tortues marines. Ces informations sont fragmentaires, mais reflètent l'importance culturelle complexe et les connaissances écologiques précises que possèdent les Marshallais, ainsi que leur incidence sur la santé et l'identité sociale de ceux-ci : Tobin (2002) rapporte de nombreuses légendes, recueillies dans les années 50, qui témoignent du grand intérêt culturel des tortues ; Erdland (1914) avait évoqué "le charme magique qu'exerce la carapace de tortue sur les Marshallais et le fait que l'écaille supérieure a un pouvoir magique supérieur à l'écaille caudale".

Ce symbolisme est lié à Lijebake (*Jebake*), une tortue géante autrefois considérée comme une déesse, qui figure dans deux légendes marshallaises courantes ayant trait aux tortues marines. Selon l'une de ces légendes, Lijebake, tortue imbriquée femelle adorée et respectée, qui vivait à l'époque à Bikar, reçoit la visite de ses deux fils, qui sont également des dieux. Elle leur transmet son pouvoir, sous la forme de morceaux de sa carapace : un morceau d'épaule à son fils préféré et un morceau d'écaille caudale à l'autre (McCoy 2004). Selon d'autres légendes (voir Downing et al. 1992 and Spennemann 1998), Lijebake a sauvé sa petite-fille de mauvais traitements à Kiribati, et s'est rendue avec elle, à la nage à l'île de Jemo, devenant ainsi la "Grand'mère tortue", ce qui explique la prédilection des tortues des générations suivantes pour cette île. Dans d'autres versions de la légende, la petite-fille se métamorphose en oiseau de mer et s'envole à Bikar (Tobin, sans date), et le Grand-père se transforme en frégate, et Lijebake s'enfuit avec sa petite-fille sur Jemo (Kane 1995). L'exploit de Lijebake est tellement bien intégré à l'identité marshallaise qu'en 1995, les autorités ont émis un timbre à 0,32 dollar qui la représente avec sa petite-fille sur son dos.

La tortue marine était une ressource culturelle si importante pour les Marshallais que, comme nous l'avons vu plus haut, jusqu'au milieu du 20^e siècle, les chefs coutumiers ont décrété plusieurs îles et atolls réserves de

tortues marines, protégées par la notion marshallaise de "mo", ou zone tabou. Il fallait observer des rituels stricts pour extraire des tortues de ces îles. Des récits antérieurs décrivent ce genre de visites au mo (Staff Anthropologist [Jack Tobin] 1957:8–9; Johannes 1986:24–25).

En 1978, alors que la tortue verte était inscrite sur la liste des espèces menacées et en voie d'extinction selon la loi des États-Unis d'Amérique de 1973 sur les espèces en voie de disparition, le Fish and Wildlife Service (service des poissons, de la faune et de la flore sauvage) des États-Unis d'Amérique et le National Marine Fisheries Service (service national des pêcheries marines) des États-Unis d'Amérique ont adopté un règlement spécial dont une clause prévoit le prélèvement permanent de tortues vertes (*Chelonia mydas*) en dessous de la laisse de marée basse à des fins de nourriture par les résidents du Territoire sous tutelle, "... à condition que ce prélèvement soit coutumier, traditionnel, et nécessaire à la subsistance de ces résidents et de leurs proches" (Balazs 1983). Le Territoire sous tutelle était la seule zone à être exemptée de l'interdiction à des fins de subsistance. La raison en était que de nombreux habitants avaient un mode de vie traditionnel dans des villages ou sur des petites îles éloignées, dont les ressources naturelles alimentaires sont limitées ; c'est pourquoi le risque de porter préjudice à la survie des tortues pour des raisons de subsistance devait être évalué par rapport aux besoins nutritionnels et culturels des habitants (Balazs 1983).

Après avoir créé un régime interne d'administration et s'être dotées d'une constitution, en 1979, les Îles Marshall promulguèrent leur propre loi sur les espèces en voie de disparition, en vue de protéger les espèces menacées et en voie d'extinction. Cette loi ne couvrait cependant que les tortues imbriquées et les tortues luths. Les Îles Marshall accédèrent à l'indépendance en vertu d'un Accord de libre association passé avec les États-Unis d'Amérique en 1986. En 1988, elles promulguèrent la loi sur l'autorité régissant les ressources marines, "Loi visant à réglementer la pêche et à protéger les espèces menacées d'extinction dans la République, et à régir les affaires connexes" (FFA, non daté). Ce nouveau texte contenait les clauses suivantes :

§ 3. Restrictions imposées à la capture de tortues.

(1) Il est interdit de capturer ou de tuer intentionnellement des tortues imbriquées ou des tortues marines lorsqu'elles sont sur une plage, et de prélever leurs œufs.

(2) Il est interdit de capturer ou tuer des tortues imbriquées, sauf celles dont la carapace mesure au moins 68,6 cm (mesure prise sur le dos de la carapace dans le sens de la longueur) ; il est interdit de capturer ou tuer des tortues vertes, sauf celles dont la carapace mesure au moins 86,4 cm (mesure prise sur le dos de la carapace dans le sens de la longueur).

(3) Il est interdit de capturer ou tuer des tortues marines de quelque taille que ce soit entre le 1^{er} juin et le 31 août compris, ainsi qu'entre le 1^{er} décembre et le 31 janvier compris.

(4) Nonobstant toute disposition contraire de la présente section, la capture de tortues marines et de leurs œufs est permise à des fins scientifiques, sous réserve d'une autorisation particulière accordée par le Conseil des ministres.

§ 6. Sanctions. Sous réserve d'une sanction différente déjà prévue, toute personne qui viole l'une des dispositions du présent chapitre est coupable d'une infraction passible d'une amende à concurrence de 100 dollars ou d'une peine d'emprisonnement inférieure à six mois, ou des deux peines.

En 1997, la loi a été modifiée comme suit (FFA, sans date) :

§ 3(2) relatif aux restrictions afférentes à la taille : ajouté "à l'exception de la pêche vivrière" ;

§ 3(3) relatif aux interdictions saisonnières : supprimé ;

§ 3(4) donnant au Conseil des ministres compétence pour accorder une autorisation : l'Office des ressources marines des Îles Marshall (MIMRA) est désormais l'instance qui délivre l'autorisation de prélèvement à des fins scientifiques.

Une nouvelle disposition est ajoutée au § 3 : "Il est interdit de vendre, d'acheter, d'exposer ou proposer à la vente ou de commercialiser par d'autres moyens des tortues ou des produits dérivés de tortues."

En outre, la sanction prévue en cas de violation est une amende à concurrence de 10 000 dollars ou une peine d'emprisonnement pouvant aller jusqu'à six mois, ou les deux.

Le niveau réel de prélèvement à des fins culturelles n'est pas connu, bien que quelques rapports nous donnent des indications (McCoy 2004, Eckert 1992, Thomas 1989, Maragos 1988, Fosberg 1951).

1951 La tortue marine n'est pas pêchée à Arno, mais les autochtones capturent fréquemment des tortues dans les pièges à poisson en pierres.

1988 À Erikub, les tortues en période de nidification et leurs œufs semblent exposés à une forte pression de récolte. "On a trouvé des empreintes humaines récentes sur toutes les plages où des traces de tortues sont signalées. On a également observé de nombreux bâtons de repérage de nids, des campements temporaires et les restes de tortues marines et d'œufs."

1989 "Les habitants de Wotho ne capturent que rarement les tortues, à des fins particulières ou pour des cérémonies, généralement en été, au large des plages d'îles désertes. Les villageois semblent très au fait de la "vulnérabilité des tortues en période de nidification, et ils limitent leurs captures en conséquence" (Thomas 1989).

1992 Une estimation des prises annuelles fait état d'une centaine de tortues pêchées sur les récifs de l'îlot Wotje.

Un habitant de Wotje a estimé à un millier le nombre de tortues pêchées chaque année à Wotje et Erikub.

Au cours de sorties de chasse à Erikub, destinées à capturer des tortues pour une grande fête du "Jour de la libération", de 20 à 30 tortues ont été prises (des femelles en train de pondre et "plusieurs mâles" pêchés à faible profondeur). On a estimé que plus de cinquante tortues marines seraient consommées au cours des festivités.

Une famille a passé le plus clair de l'été à Erikub et capturé 13 tortues, estimant que deux animaux échappaient pour un capturé. Il s'agissait de tortues de grande taille, parvenues à maturité, 9 mâles et 4 femelles. Dix ont été vendues à Majuro, dont trois à des fins de consommation.

2003 Une quarantaine de tortues par an ont été capturées à Wotje, la plupart de grande taille ; elles ont été pêchées dans le lagon et capturées au moment de la ponte.

Les personnes interrogées ont admis que les tortues sont le plus souvent capturées dans les parties est et sud de l'atoll d'Ailinglaplap, où il y a des herbiers et des mangroves et où habite la majeure partie de la population.

D'après les réponses de divers informateurs, on a estimé les prises annuelles à 30-50 tortues vertes en moyenne pour l'ensemble de l'atoll : 1 à 2 pour Katiej et les îlots du nord-ouest ; 10 à 15 entre Buoj et Airok ; 10 à 15 à Jeh et autour des îlots de l'est ; 10 à 15 à Woja et autour des îlots de l'ouest ; 2 à 5 femelles en train de pondre sur les îlots déserts (en tout, 33 à 52 tortues).

Du fait de l'importance de la tortue marine pour les Marshallais, une grande partie de la recherche visera à inventorier, du point de vue marshallais, les savoirs culturels et à évaluer la place des tortues marines dans la vie quotidienne, afin de déterminer les ramifications possibles des conclusions (par exemple, le fait que certaines parties ou la totalité des tortues marines ne sont pas comestibles), en particulier :

- l'importance des produits alimentaires non commerciaux et non importés (tortues marines, produits de la mer, autres produits alimentaires) dans l'alimentation ordinaire et les préférences alimentaires ;
- les savoirs culturels particuliers concernant la protection et la conservation des tortues marines ;
- les savoirs culturels particuliers concernant les tortues marines, en tant qu'êtres revêtant une signification culturelle (y compris mythique) ;
- les savoirs culturels particuliers concernant les tortues marines, en tant que sources de produits alimentaires et de remèdes ;
- les savoirs culturels particuliers concernant les techniques de protection et de conservation des tortues marines et de leurs habitats ;
- les savoirs culturels particuliers concernant la recherche et le prélèvement de tortues marines et de leurs œufs, et
- l'importance culturelle des tortues marines dans l'identité et le sentiment d'appartenance des Marshallais.

Un deuxième volet de cette recherche visera à évaluer l'impact éventuel sur les forces du marché de l'adoption de modes d'exploitation des tortues marines non destinés à la consommation (par les Marshallais et d'autres populations). Des enquêtes seront conduites pour mieux cerner :

- la part des produits alimentaires locaux sur les marchés ;
- les préférences alimentaires (et les craintes) des populations locales, et
- l'importance des tortues de mer aux yeux des touristes et des agences de voyage.

Un troisième volet de cette recherche, lié aux deux autres, consistera à procéder à une cartographie par GPS afin de mieux compléter la connaissance des principaux sites sous l'angle culturel et écologique. Nous procéderons à cet effet à :

- l'enregistrement d'écogrammes locaux ;
- des instantanés oraux sur les tortues marines et d'autres sites importants pour les Marshallais, et
- la cartographie de sites de tortues marines et d'écogrammes selon les coordonnées relevées par GPS.

En faisant de la collecte de savoirs locaux l'un des grands volets du projet, les chercheurs pourront se faire une idée du contexte social général dans lequel se pose la difficulté majeure qui consiste à gérer efficacement les ressources en tortues marines des Îles Marshall. L'étude de l'évolution culturelle et historique des différentes activités économiques conduites dans la région par les communautés autochtones, de leurs aspects sociaux et culturels, nous aidera à analyser les types de problèmes sociaux et de questions culturelles qui se posent à propos des tortues marines dans la région. Nous étudierons et évaluerons les méthodes suivies pour récolter et transformer les tortues marines à des fins alimentaires et économiques, et nous nous pencherons sur les questions éthiques que posent les rapports entre les tortues marines, importante ressource culturelle, et leur contamination éventuelle due à la guerre et aux essais d'armes nucléaires. Nous examinerons aussi les conséquences des différents modèles de répartition de la ressource et leurs implications, ainsi que leur incidence sur les tortues marines et la santé humaine.

Par des méthodes associées, quantitatives et qualitatives, des données seront recueillies et analysées (voir plus loin la description de ces méthodes). Des méthodes ethnographiques participatives, fondées sur l'association de techniques d'interaction phénoménologiques et sociologiques, ainsi que des instruments d'enquête créés aux fins du présent projet, seront employés. Des informations ethnographiques de base et qualitatives sur la perception des tortues marines par les populations locales seront recueillies. Parmi les méthodes suivies, il faut citer notamment les entretiens semi-structurés, les débats collectifs, l'observation des participants, les instantanés oraux et la cartographie des sites de tortues marines par GPS, la cartographie par écogrammes et la mise en correspondance cognitive, l'écoute active, l'observation et l'analyse du paysage, des enquêtes auprès de touristes, l'étude du marché et des produits alimentaires locaux, des entretiens sur la biologie, des études d'aménagement du temps, des

enquêtes sur les préférences alimentaires, et la collecte de recettes de préparation des tortues à des fins alimentaires et médicales. La population visée consistera dans des catégories sociales et d'âge différentes, de manière à ce que les chercheurs aient une vue d'ensemble des perceptions locales. Les scientifiques s'entretiendront avec des chefs de ménage des atolls, des anciens, des spécialistes de la culture, des pêcheurs de tortues, des revendeurs sur le marché, des préparateurs et d'autres experts locaux désignés par la communauté. Nous nous appuyerons sur des partenaires qui connaissent bien les Îles Marshall et leur culture, sur une écoute active, de la documentation photographique et des entretiens non structurés avec des groupes et des membres clés de la communauté, afin de recueillir des informations selon les méthodes les plus naturalistes et respectueuses de la culture locale.

Nous souhaitons que nos travaux s'appuient sur la participation des populations locales, à chaque étape. Pour y parvenir, il faut prendre en compte les critères d'utilité, de pertinence et d'importance pour la communauté locale. Ainsi, la recherche proposée n'aura pas un intérêt purement "extérieur". Naturellement, cela implique aussi la volonté d'être à l'écoute des intérêts de la communauté, la participation de celle-ci à des discussions initiales, un échange de ressources pendant toute la durée de la recherche, et la communication des informations concernant les avantages et les demandes à faire à la communauté locale.

L'examen approfondi des usages et de l'incidence éventuels des résultats de la recherche sera intégré au processus, en liaison avec les membres de la communauté, aucune personne de l'extérieur n'étant à même de juger ou de prédire la manière dont les informations pourraient causer un préjudice aux participants locaux. Naturellement, toute participation se fera à titre volontaire et anonyme, ainsi que l'exigent les règlements fédéraux relatifs à la recherche sur des "sujets" humains.

Le caractère participatif des travaux de terrain proposés sera souligné et rendu public. Nous avons prévu un échange réciproque de connaissances et savoir-faire sous forme, par exemple, de formation, d'encadrement et de recours à des assistants rémunérés. S'engager à mener ce genre de travail pendant toute la durée de la recherche est une condition essentielle de la collaboration. Celle-ci est grandement facilitée par les relations qui sont nouées tout au long du travail dans des contextes locaux significatifs, et non par celles qui distraient l'attention de la recherche. Les travaux à l'échelon local permettent aux membres de la communauté d'apprécier les contributions de tous les chercheurs, et à ceux-ci de connaître la population dans son environnement habituel. Les participants consacrent leur temps, leurs efforts et leurs connaissances à la recherche. Cette contribution doit être respectée, reconnue et, en contrepartie, un engagement en nature doit être proposé.

Cet échange d'informations et de ressources permet aux chercheurs d'être mieux connus des membres de la communauté, les rend plus accessibles et plus faciles à comprendre. Au fur et à mesure de cet échange, les personnalités, les désirs et les intérêts deviennent plus transparents. En considérant cette contribution comme obligatoire, et non comme une activité greffée, nous espérons surmonter

une difficulté. En consacrant du temps aux participants à la recherche, nous gagnons en crédibilité, non seulement au travers de notre recherche, mais aussi en tant qu'individus. Nous consacrons du temps aux besoins qu'ils ont manifestés, à leurs moyens de subsistance, comme ils nous consacrent du temps. Nous faisons leur connaissance en tant qu'êtres humains, pas seulement comme personnes interrogées. Nous nous faisons connaître et manifestons nos forces et nos faiblesses. Nous nous engageons à respecter les principes de professionnalisme et d'éthique en protégeant l'anonymat des participants et en recherchant la plus grande exactitude possible. Une fois les recherches sur le terrain terminées, les résultats finals seront présentés aux communautés locales sous une forme accessible et pertinente, en évitant tout jargon technique et terminologie spécifique à une discipline donnée.

L'intérêt de communiquer les résultats de la recherche par un produit accessible à tous est immense. En éliminant la terminologie universitaire et en énonçant clairement des intérêts théoriques, nous avons non seulement l'occasion de donner en retour, mais aussi de montrer combien la participation de la communauté contribue à une compréhension approfondie du thème de la recherche. Cela donne au chercheur la possibilité de prendre ses responsabilités vis-à-vis de la communauté pour formuler des éloges, des critiques, et susciter d'autres débats. Une fois que les membres de la communauté ont accès — dans la langue vernaculaire, les idiomes et les images qu'ils utilisent habituellement — aux textes écrits à leur propos, ils ont l'assurance de pouvoir formuler leurs observations et d'être reconnus comme des co-auteurs et des collaborateurs.

"À notre avis, les Océaniens des générations futures pourront choisir la manière dont ils utiliseront les tortues marines. Ce rêve se concrétisera si nous agissons de telle sorte que les populations de tortues marines retrouvent une bonne santé, et deviennent robustes et stables. Les tortues rempliront leur rôle écologique et seront récoltées par des Océaniens de manière durable, afin de satisfaire leurs besoins culturels, économiques et nutritionnels."

-- Vision énoncée dans le Plan stratégique en faveur des tortues marines du Pacifique Sud, élaboré par les participants à la réunion de planification stratégique du Projet régional de conservation des tortues marines, tenu en juin 1996 à Apia (Samoa)

Remerciements

Nous tenons à remercier Jack Frazier, Karen Frutchev, Irene Kinan Kelly, Barbara Rose Johnston, Holly Barker, Alison Reiser, Nancy Vander Velde, Kenneth Ruddle et LCDR Jason Rudrud USNR, qui nous ont apporté une aide précieuse à l'amélioration de versions antérieures du présent document et qui nous ont fait profiter de leur expérience et leurs connaissances.

Je voudrais ajouter mes remerciements personnels à George Balazs et Robert Morris, DVM, qui m'ont plus appris sur les tortues marines qu'ils ne le sauront jamais — mon estime et ma gratitude pour ces deux personnes sont trop grandes pour que je puisse leur rendre justice ici. Merci

aussi à Wallace "J." Nichols qui m'a insufflé amour et passion pour le monde magique et merveilleux des tortues marines. RWR.

Bibliographie

- Acuna M.T., Diaz G., Bolanos H., Barquero C., Sanchez O., Sanchez L.M., Mora G., Chaves A. and Campos E. 1999. Sources of *Vibrio mimicus* contamination of turtle eggs. *Applied and Environmental Microbiology* 65(1):336-338. In: PubMed [database on the Internet]. U.S. National Institutes of Health; PubMed Central (PMC); Last updated: 2007 March 30 [cited 2007 March 30] Available from: <http://www.pubmed-central.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=91027>
- Aguirre A.A., Gardner S.C., Marsh J.C., Delgado S.G., Limpus C.J. and Nichols W.J. 2006. Hazards associated with the consumption of sea turtle meat and eggs: A review for health care workers and the general public. *EcoHealth* [Internet]. [Cited 2007 March 30]; Available from: http://www.wildlifetrust.org/news/2006/download/EcoHealth2006_Hazards.pdf#search=%22%22Turtle%20Meat%20and%20Cone%20Shell%20Poisoning%22%22
- Applied Fisheries Laboratory (AFL). 1955. December 30, 1955 Department of Energy Document 342.
- Argonne National Laboratory (ANL and USDOE). 2007. Radiological and chemical fact sheets to support health risk analyses for contaminated areas [Internet]. [Cited 2007 July 5]; Available from http://www.ead.anl.gov/pub/doc/ANL_Contaminant-FactSheets_All_070418.pdf
- Asian Development Bank (ADB). 2001. Marshall Islands Meto2000 economic report and statement of development strategies. Manila. In: Asian Development Bank (ADB). 2005. *Juumemmej*: Republic of the Marshall Islands Social and Economic Report. Available from: <http://www.adb.org/Documents/Reports/juumemmej-summary-report/juumemmej.pdf>
- Atkins H.L., Ansari A.N., Bradley-Moore P.R., Lambrecht R. and Wolf A. 1974. Comparative evaluation of Iodine-123 and Technetium-99 for thyroid studies. Brookhaven National Laboratory Document 18401 [Internet]. [Cited 2007 August 28]; Available from: http://worf.eh.doe.gov/data/ihp2/1032_.pdf
- Balazs G.H. 1983. Subsistence use of sea turtles at Pacific islands under the jurisdiction of the United States. SWFSC Admin. Rep. H-83-17.
- Bass K.R. 2003. (veteran Operation CASTLE). Re: Operation CASTLE. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2003 Aug 8 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/bass.htm>
- Beasley T.M., Held E.E. and Conard R.M. Iron-55 in Rongelap people, fish and soils. September 1970. Laboratory of Radiation Ecology, College of Fisheries, University of Washington and Medical Department, Brookhaven National Laboratory. [cited in Johnston and Barker 2001]
- Berkhouse L., Hallowell J.H., McMullan F.W., Davis S.E., Jones C.B., Osborne M.J., Gladeck F.R. and Martin E.J. 1984. Operation Crossroads, 1946: United States atmospheric nuclear weapons tests (United States, Nuclear test personnel review / prepared by the Defense Nuclear Agency as Executive Agency for the Department of Defense, Defense Nuclear Agency. Available from: <http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA146562&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>
- Biayiock B.G., Frank M. L. and O'Neal B.R. 1993. Methodology for estimating radiation dose rates to freshwater biota exposed to radionuclides in the environment. US Department of the Environment Office of Scientific and Technical Information Technical Report OSTI ID: 10140212; Legacy ID: DE94009495. Available from: <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/10140212-KQsHo1/native/>
- Breslin A.J. and Cassidy M.E. 1955. U.S. Atomic Energy Commission. Radioactive debris from Operation Castle, Islands of the Mid-Pacific 37. [cited in Watkins et al. 2006]
- Campbell R.L. undated. (veteran Operation GREENHOUSE). Operation Greenhouse: Two Months of Fallout - Decades of Deceit [Report on the Internet]. [cited 2007 August 30]. [41 screens]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/ogintro.htm>
- Campos E., Bolaños H., Acuña M.T., Díaz G., Matamoros M.C., Raventós H., Sánchez L.M., Sánchez O. and Barquer C. 1996. *Vibrio mimicus* diarrhea following ingestion of raw turtle eggs. *Applied and Environmental Microbiology* 62(4):1141-1144. Abstract available from: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheNandcpsidt=3041867>
- Carrell T.I. (ed), Boyer R.D., Marjorie G.D., Foster K., Lenihan D.J., Lotz D.T., Thomas F. McGrath B., Miculka J.E. and Rock T. 1991. Submerged cultural resources assessment of Micronesia. Southwest Cultural Resources Center Professional Papers Number 36. Available from: <http://marshall.csu.edu.au/Marshalls/html/SCRU/micro1.pdf>
- Celestial R.N. 2000. (veteran cleanup operation Enewetak). Re: Post cleanup Enewitok Atoll. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2000 Aug. 31 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/celestial.htm>
- Clayton R. 2007. (veteran Operation HARDTACK). Re: Hardtack. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2007 Jan 1 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/clayton.htm>

- Collins D. 2000 (veteran cleanup operation Enewetak). Re: Enewetak clean up. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2000 June 2 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/collins.htm>
- Dean G. 1952. Chairman, AEC, to James P. Davis, Director, Office of Territories, 12 Sep 52, Department of the Interior (DOI), Secretariat, Box 4928, MR&A7 Castle, Vol. 1, RG 326, DOE Archives.
- Delgado J.P., Lenihan D.J. and Murphy L.E. 1991. The archeology of the atomic bomb: A submerged cultural resources assessment of the sunken fleet of operation crossroads at Bikini and Kwajalein Atoll Lagoons. Southwest Cultural Resources Center Professional Papers Number 37 Santa Fe, New Mexico.
- Dickman J.L. 1972. Major General, USN, Deputy Director (Operations and Administration) to The Assistant Secretary of Defense (International Security Affairs) 30 Aug 72, Defense Nuclear Agency Document Number G19. [Internet]. [cited 2007 July 7]. Available from <http://worf.eh.doe.gov/ihp/chron/G19.PDF>
- Donaldson L.R. 1950. Radiobiological survey of Bikini, Eniwetok, and Likiep Atolls, July–August, 1949. University of Washington: Seattle. July 12, 1950. Department of Energy Document 340.
- Donaldson L.R. 1962. Radioactivity in the Biota at Islands of the Central Pacific, 1954–1958. Laboratory of Radiation Biology, University of Washington: Seattle. February 15, 1962. Department of Energy Document 299.
- Downing J., Spennemann D.H.R. and Bennett M. (eds). 1992. Bwebwenatoon etto, a collection of Marshallese legends and traditions. Majuro: Historic Preservation Office.
- Eckert S. 1992. Trip report: Republic of the Marshall Islands 16-22 May 1992, by Coordinator, US Pacific Sea Turtle Recovery Team, National Marine Fisheries Service, Southwest Region. Manuscript.
- Eisler R. 1994. Radiation hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review. USGS Biological Report 26 Contaminant Hazard Reviews Report No. 29 December 1994. Available from: <http://www.pwrc.usgs.gov/infobase/eisler/>
- Erdland A. 1914. The Marshall Islanders: life and customs thought and religion of a South Seas people. Anthropos Bibliothek. Ethnological Monographs 2(1). Translated from the German by Richard Nouse, (1961) Human Relations Area files, New Haven, Conn.
- Fee J.J. 1946. Operation Crossroads: Radiological Decontamination Report of Target and Non-Target Vessels, 3 vols. Technical Report XRD-185-87. NTIS Document Nos. AD 473 906. (1):14.
- Forum Fisheries Agency (FFA) [Internet]. Undated. Marshall Islands Fisheries Legislation. Available from: <http://www.spc.int/coastfish/Countries/marshalls/marshall.leg.ffa.pdf>
- Fosberg F.R. 1990. A review of the natural history of the Marshall Islands. Atoll Research Bulletin 30. Issued by the National Museum of Natural History Smithsonian Institution Washington, D.C., USA January 1990. Available from: <http://www.botany.hawaii.edu/faculty/duffy/arb/330-338/330.pdf>
- Fosberg F.R. 1951. Vertebrate ecology of Arno Atoll, Marshall Islands No. 4. Marine zoology study of Arno Atoll, Marshall Islands. Atoll Research Bulletin 3 October 15, 1951. Available from: <http://www.botany.hawaii.edu/faculty/duffy/arb/003-04/default.htm>
- Francis H.L. 1999 (veteran Operation REDWING). Re: Eniwetok experiences. In: *US Atomic Veterans Forum* [Discussion list on the Internet]. 1999 Jun 13 [cited 2007 Aug 29]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/francis.htm>
- Government of the Trust Territory of the Pacific Islands (GTTPI). 1944. Use and occupancy agreement for land in the Trust Territory of the Pacific Islands under the administrative authority of the Department of the Interior. Document 214214 F4. Available from: <http://worf.eh.doe.gov/ihp/chron/F4.PDF>
- Guido J. 2001 (veteran Operation IVY). Re: Ivy In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2001 Mar 2 [cited 2007 August 30]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/guido.htm>
- Hacker B.C. 1987. *The Dragon's Tail: Radiation Safety in the Manhattan Project, 1942-1946*. Berkeley: University of California Press. [cited in Weisgall 1994]
- Hampton J. 2004 (veteran Operation HARDTACK). Re: OPERATION HARDTACK. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2004 Apr 1 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/hamptonj.htm>
- Held E.E. 1969. Radiological resurvey of animals, soils and groundwater at Bikini Atoll, 1969. US DOE Archives. 3261 U.S. Atomic Energy Commission. NVO-269-8.
- Held E.E. 1959. August 7, 1959 Letter to D.H. Nucker, High Commissioner, Trust Territory of the Pacific Islands, regarding a biological survey of Rongelap. DOE #358
- Ingram D.E. 2002. (veteran cleanup operation Enewetak). Re: Eniwetok 1965. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2002 Jan 13 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. <http://www.aracnet.com/~pdxavets/ingramd.htm>

- Ingram M.H. 2001. (veteran Operation GREENHOUSE). Re: Update to MH Ingram's Eniwetok Story. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2001 Sep 27 [cited 2007 August 30]. [5 screens]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/ingram.htm>
- Jackson I. 2005. (veteran cleanup operation Enewetak). Re: Enewetak. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2005 Jan 8 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/jackson.htm>
- Jernström J., Eriksson M., Simon R., Tamborini G., Bildstein O., Marquez C., Kehl S.R., Betti M. and Hamilton T.F. 2005. Characterization and source term assessments of radioactive particles from Marshall Islands using non-destructive analytical techniques. Lawrence Livermore Labs document number UCRL-JRNL-217812.
- Johannes R. 1986. A review of information on the subsistence use of green and hawksbill sea turtles on islands under United States jurisdiction in the western Pacific Ocean. Administrative report SWR-86-2, National Marine Fisheries Service, 41 pages.
- Johnson R. 2004. (veteran Operation SANDSTONE). Re: Operation SANDSTONE. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2004 Apr 25 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/johnsonr.htm>
- Johnston B.R. 2003. (Senior Research Fellow, Center for Political Ecology, P.O. Box 8467 Santa Cruz, California 95061). Re: Perchlorate/env toxins: US military legacies issues in the RMI [email communication] To: Barker H., RMI Embassy and Graham G., Advocate. 2003 May 5. [1 screen].
- Johnston B.R. and Barker H. 2001. Hardships and consequential damages from radioactive contamination, denied use, exile, and human subject experimentation experienced by the people of Rongelap, Rongerik, and Ailinginae Atolls. Report Prepared at the request of: Bill Graham, Public Advocate Nuclear Claims Tribunal September 17, 2001.
- Kane H.K. 1995. Lijebake rescues her granddaughter. In: Legends of the Marshall Islands series. Available from: <http://www.artworkoriginals.com/EB5SB9PP.htm>
- Keller J.M. and McClellan-Green P. 2004. Effects of organochlorine compounds on cytochrome P450 aromatase activity in an immortal sea turtle cell line. Marine Environmental Research Aug-Dec 58(2-5):347-51. In: PUBMED [database on the Internet]. US National Institutes of Health; [Cited 2007 March 30]. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=15178053&dopt=Abstract
- Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) Nuclear data evaluation lab table of nuclides. [Internet]. [updated 2000; cited 07 March 29]. Available from: <http://atom.kaeri.re.kr/ton/index.html>
- Kosted L. and Kosted E. 1997. (veteran Operation CASTLE). Re: Operation Castle - NAAV Story. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 1997 Dec 26 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/kosted.htm>
- Lamb T., Bickham J.W., Gibbons J.W., Smolen M.J. and McDowell S. 1991. Genetic damage in a population of slider turtles (*Trachemys scripta*) inhabiting a radioactive reservoir. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 20(1):138-42. In PUBMED [database on the Internet]. US National Institutes of Health; [Cited 2007 March 30]. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=196906&dopt=Abstract
- Las Alamos National Laboratory (LANL). 1946. [Memorandum: Radiological Safety Section to Technical Director, September 25, 1946], LANL, App. 7, Sec. E.
- Lessa W.A. 1984. Sea turtles and ritual: Conservation in the Carolina Islands. In: Gunda, B. (ed). The fishing culture of the world. Studies in ethnology, cultural ecology and folklore. Budapest: Akademiai Kiado. 2:1183-1201.
- Long B. 2001. (veteran Operation CASTLE). Re: Atomic Veteran (Operation Castle). In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2001 Sep 10 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/longb.htm>
- Long L. 1998. (veteran Operation REDWING). Re: Operation Redwing. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 1998 Nov 5 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/long.htm>
- Mace G. 2003. (veteran Operation HARDTACK). Re: OPERATION Hardtack-1. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2003 May 18 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/mace.htm>
- Maragos J. 1988. Description of reefs and corals for the 1988 protected area survey of the Northern Marshall Islands. Atoll Research Bulletin 419. Available from: <http://www.botany.hawaii.edu/faculty/duffy/arb/415-425/419.pdf>
- Marquez A. 2007. (veteran Operation IVY). Re: Fw: Operation Ivy In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2007 Mar 29 [cited 2007 August 30]. [2 screens]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/marquez.htm>

- Mason L. 1954. Relocation of the Bikini Marshallese: a Study in group migration. PhD Dissertation. Yale University
- Mauro J.J. et al. [sic] 2002. Investigations into the Current and Projected Radiation Exposures to the People of Selected Atolls and Islands of the Republic of the Marshall Islands Due to Residual Radioactivity in the Environment from Nuclear Weapons Testing. S. Cohen & Associates. S-8. [cited in Watkins et al. 2006]
- McCoy M. 2004. Defining parameters for sea turtle research in the Marshall Islands. NOAA Administrative Report AR-PIR-08-04.
- McMurtry D.R. 1995. [516th Military Police Company, Army Task Group 3.2, working security report to the US Veterans' Administration on September 5, 1995]. In: Campbell undated. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/og8.htm> [cited in Campbell undated]
- McMurtry G.M., R.C. Schneider, P.L. Colin, R.W. Budemeier and T.H. Suchanek. 1985. Redistribution of fallout radionuclides in Enewetak Atoll lagoon sediments by callianassid bioturbation. *Nature* 313, 674–677 (21 February 1985); doi:10.1038/313674a.
- Mead R. 2000. (veteran Operation REDWING). Re: Operation Redwing, USS Caliente AO-53 excerpts from Redwing Diary. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2000 Aug 29 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/mead.htm>
- Meyers-Shone L. and Watson B.T. 1990. Comparison of two freshwater turtle species as monitors of environmental contamination. Environmental Sciences Division Publication No. 3454. The National Technical Information Service, US Department of Commerce, 5285 Port Royal Rd., Springfield, VA 22161. Available from: <http://www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/39017.pdf>
- National Resources Assessment Survey (NRAS). 2003. Coral Reef Conservation in Mili and Rongelap Atoll, RMI. Available from: http://www.nras-conservation.org/nraslibrary/NFWF_finalreport2003.pdf
- Nelson V.A. 1977. Radiological survey of plants, animals and soil at Christmas Islands and seven atolls in the Marshall Islands: Progress Report for 1974-1975. U.S. Atomic Energy Commission NVO-269-32.
- Nichols K.D. 1944. Letter to W. Sterling Cole, Chairman, Joint Committee on Atomic Energy Congress of the U.S. September 14, 1954. Available from: <http://worf.eh.doe.gov/ihp/chron/A18.PDF>
- Noshkin V.E. 1978. Transuranium radionuclides in components of the benthic environment of Enewetak Atoll. LLLL Environmental Sciences Division Document Number Preprint UCRL-80587.
- Noshkin V.E. and Robison W.L. 1997. Assessment of a radioactive waste disposal site at Enewetak Atoll. *Health Physics* 73(1):234–247.
- Oakes R. 2002. (veteran Operation SANDSTONE). Re: Operation SANDSTONE. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2002 Jan 8 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/oakes.htm>
- Palmer E. 2001. (veteran Operation GREENHOUSE). Re: 50 years ago at Enewetak. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2001 Apr 8 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/palmer.htm>
- Palumbo R.R. 1959. Gross Beta radioactivity of the algae at Eniwetok Atoll, 1954-1956. Laboratory of Radiation Biology, University of Washington: Seattle. August 31, 1959. Department of Energy Document 292.
- Palumbo R.R. and Lowman F.G. 1958. April 7 1958 Department of Energy Document 348.
- Presti S., Resendiz A., Hidalgo S., Sollod A. and Seminoff J.A. 1999. Mercury presence in the scutes of black sea turtles, *Chelonia mydas agassizii*, in the Gulf of California. *Chelonian Conservation and Biology* 3:531-533.
- Puleloa W. and Kilma N. 1992 manuscript. The sea turtles of the northern Marshalls. A research expedition to Bikar and Erikup atolls and Jemo Island. Unpublished Report to SPREP. 72 p.
- RADNET. 2007. Information about source points of anthropogenic radioactivity. A Freedom of Nuclear Information Resource [Internet]. Hulls Cove, ME: Center for Biological Monitoring (US); [updated continuously; cited 2007 Mar 21]. Available from: <http://www.davistownmuseum.org/cbm/index.html>
- Ranaivoson G., de Ribes Champetier G., Mamy E.R., Jeannerod G., Razafinjato P. and Chanteau S. 1994. Mass food poisoning after eating sea turtle in the Antalaha District. *Archives de l'Institut Pasteur Madagascar* 61(2):84-86. Available from: http://www.promedmail.org/pls/askus/f?p=2400:1001::NO::F2400_P1001_BACK_PAGE,F2400_P1001_PUB_MAIL_ID:1000%2C29316
- Robinson W.L., Conrado C.L., Bogen K.T. and Stoker A.C. 2003. The effective and environmental half-life of [137]Cs at Coral Islands at the former US nuclear test site. *Journal of Environmental Radioactivity* 69(3):207-223.
- Robinson W.L., Noshkin V.E. and Phillips W.A. 1978. Assessment of potential doses to populations from the transuranic radionuclides at Enewetak Atoll. Lawrence Livermore Laboratory G25 45079.

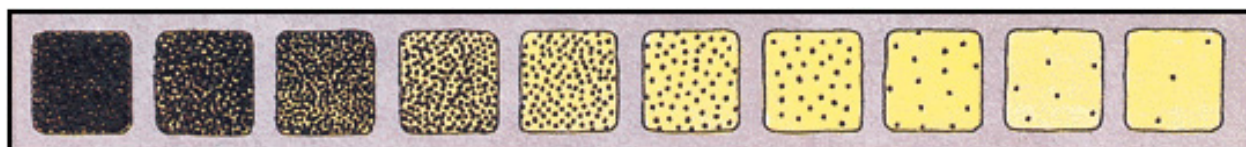
- Rowa A. 2006. This week in Marshall Islands history: The Big Bang at Enewetak. YokweOnline [Internet Serial] November 1, 2006. [cited 2006 Nov. 1]. Available from: <http://www.yokwe.net/index.php?name=News&file=article&sid=1553>
- Ruff T.A. 1989. Study reported in The Lancet Volume 1. Cited in May J. 1989. The Greenpeace Book of the Nuclear Age. New York: Pantheon Books. p 249. [cited in May 1989]
- Sakai H., Saeki K., Ichihashi H., Suganuma H., Tanabe S. and Tatsukawa R. 2000a. Species-specific distribution of heavy metals in tissues and organs of loggerhead turtle (*Caretta caretta*) and green turtle (*Chelonia mydas*) from Japanese coastal waters. Marine Pollution Bulletin 40(8):701-709.
- Sakai H., Saeki K., Ichihashi H., Kamezaki N., Tanabe S. and Tatsukawa R. 2000b. Growth-related changes in heavy metal accumulation in green turtle (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Okinawa, Japan. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 39(3):378-85. Available from: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1506135>
- Sapp J.A. 2000. (Atomic Veteran). Eniwetok - Rongerik experiences: The Hydrogen bomb test. In: The Wetokian [Internet]. Web Issue Winter 2000. [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/wetokian/sapp5.htm>
- Savage J. 2001. (veteran cleanup operation Enewetak). Re: Duty in Enewetak, Marshall Islands. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2001 Mar 11 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/savage.htm>
- Schubert J. and Lapp R. 1957. Radiation: What it is and how it affects you. New York: Viking Press. p 223.
- Scott H. 2001. (veteran Operation SANDSTONE). Re: Operation SANDSTONE. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2001 Dec 14 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/scott.htm>
- Seymour A.H. et al. [sic]. 1957. Survey of radioactivity in the sea and in pelagic marine life west of the Marshall Islands, September 1-20, 1956. Prepared for the Atomic Energy Commission March 15, 1957. University of Washington: Seattle. Department of Energy Document 332.
- Simon S.L. and J.C. Graham. 1994. Findings Of The Nationwide Radiological Study. [cited in Watkins et al. 2006]
- Sims. E.C. 1999-2007. When the street lights went off, it was mission time [Internet]. Available from: http://www.angelfire.com/hi2/kwa/0his_9094.html
- Smitherman J. 1983. (veteran Operation CROSSROADS). [Interview by Ashley Halsey III *The Oregonian* Tuesday May 24, 1983 (PM Final)]. In: *US Atomic Veterans Forum* [Discussion list on the Internet]. [cited 2007 August 30].
- Snapp R.B. 1949. Atomic Energy Commission Resume of Radiological Survey of Eniwetok Atoll Note by the Secretary March 29, 1949. AEC 9/14. Available at: <http://worf.eh.doe.gov/ihp/chron/A4.PDF>
- South Pacific Regional Environmental Program (SPREP). 2002. A regional strategy to address marine pollution from World War II wrecks: (Endorsed at 13th SPREP Meeting, Majuro, Marshall Islands, July 2002 - approval given to implement Steps 1-3). Document 13SM/Officials/WP.7.2.2.1/Att.1 Available from: http://www.sprep.org/publication/webpage/004ship_waste_ww2/WWII_strategy/regional.htm
- Spennemann D.H.R. 2006. Managing unexploded ammunition at and near cultural heritage sites issues for Micronesian historic preservation. *Micronesian* Vol. 5, n° 1/2:234-271. Available from: http://marshall.csu.edu.au/MJHSS/Issue2006/MJHSS2006_114.pdf
- Spennemann D.H.R. 1998. Ennaanin Etto, a collection of essays on the Marshallese past. Historic Preservation Office, Majuro. Available from: <http://life.csu.edu.au/marshall/html/essays/espre.html>
- Staff Anthropologist [Jack Tobin]. 1957. Notes on the present regulations and practices of harvesting sea turtle and sea turtle eggs in the Trust Territory of the Pacific Islands. Anthropological Working Papers 1. Guam: Office of the Staff Anthropologist, Trust Territory of the Pacific Islands.
- Strainchamps V. 2000. History of the chélonitoxisme (food poisoning by consumption of tortoise marinates) review of the literature. In: Ségalen V. Food poisoning by consumption of tortoise marinates with nozzle of bird (*Eretmochelys imbricata*) in French Polynesia, Thesis doctorate medicine, Université Bordeaux 2 - December 11, 2000.
- Summers D. 2002. (veteran Operation CASTLE). Re: Donald Summers. In: US Atomic Veterans Forum [Discussion list on the Internet]. 2002 Jan 9 [cited 2007 March 19]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/summers.htm>
- Thomas P.E.J. (compiler). 1989. Report of the Northern Marshall Islands Natural Diversity and Protected Areas Survey, 7-24 September 1988. South Pacific Regional Environment Programme (SPREP), Noumea, New Caledonia, and the East-West Center, Honolulu, Hawaii. 133 p.
- Tobin J.A. 2002. Stories From The Marshall Islands: Bwebwenato Jan Aelon Kein. Honolulu: University of Hawaii Press. xiii, 405 p.

- Tobin J.A. 1952. Land tenure in the Marshall Islands. Atoll Research Bulletin 11:1–36.
- University of California (UC). undated. Operation CASTLE, Project 2.7A: Radioactivity on Open-Sea Plankton Samples. Department of Energy Document 34.
- University of Washington (UW). 1958. Radiobiological studies of the fish collected at Rongelap and Ailinginae Atoll, July 1957. Seattle, March 5, 1958. Department of Energy Document 312.
- Unterweger M.P. 2002. Half-life measurements at the National Institute of Standards and Technology. Applied Radiation and Isotopes 56:125–130.
- US Air Force (USAF) Space and Missile Systems Center, and the Aerospace Corporation. 2001. Assessment of Perchlorate releases in launch operations. Issued October 2001. [cited in Johnston 2003]
- US Department of Energy (DOE). 1982. Marshall Islands: A Chronology 1944-1981. Department of Energy Document 2UF890.m35 c.1. Available online at: <http://worf.eh.doe.gov/ihp/chron/A27.PDF>
- US Department of Energy (DOE). 1977. Radiological survey of plants, animals and soil at Christmas Islands and seven atolls in the Marshall Islands. University of Washington: Seattle. DOE document number 262: January 1977.
- US Environmental Protection Agency (EPA) [Internet]. Common radionuclides found at superfund sites. [updated 2006 March 1; cited 2007 March 29. Available from: <http://www.epa.gov/superfund/resources/radiation/nuclides.htm>
- US Government Accountability Office (GAO). 1985. Report to the Honorable Alan Cranston, U.S. Senate: Operation Crossroads personnel radiation exposure estimates should be improved. GAO document number GAO.RCED-86-15. Available from: <http://archive.gao.gov/d12t3/128548.pdf>
- US Defense Nuclear Agency (USDNA). 1981. The radiological cleanup of Enewetak Atoll. Washington, DC: Defense Nuclear Agency. Document number: AD-A-107997/9.
- Vanda M., Mendonca V.M., Bicho R.C., Al Kiyumi A.A. and Al Saady S.M. 2006. Occurrence of mutant hatchlings in a population of green turtles *Chelonia mydas* in the NW Indian Ocean. Proceedings of the 26th International Sea Turtle Symposium, Island of Crete, Greece, 3–8 April 2006.
- Wang H.C. 2005. Trace metal uptake and accumulation pathways in Kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*). Thesis, Texas A & M University. Available from: <http://handle.tamu.edu/1969.1/2413>
- Watkins A., Kamhi A., Smaczniak K. and Zhang L. 2006. Keeping the promise: An evaluation of continuing U.S. obligations arising out of the U.S. nuclear testing program in the Marshall Islands. Harvard Law School: Harvard Law Student Advocates for Human Rights. Available from: <http://archives.pireport.org/archive/2006/April/MarshallIslandsReport.pdf>
- Weitz R., Thomas C., Klemm J., Stuart J., Knowles M., Goetz J., Muller E. and Landay A. 1982. Analysis of radiation exposure for naval operations crossroads Volume 1 – Basic Reports. Technical Report number DNA.TR.82.05W. Available from: <http://www.dtra.mil/documents/rd/DNATR8205V1.pdf>
- Wilson E.W., Yook C.N.G. and Robinson W.L. 1975. Evaluation of plutonium at Enewetak Atoll. Health Physics 29(October), 599–611.
- Wixon R. 1999 (veteran Operation HARDTACK). Re: Operation Hardtack, Eniwetok. In: *US Atomic Veterans Forum* [Discussion list on the Internet]. 1999 Jul 16 [cited 2007 Aug 29]. [1 screen]. Available from: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/wixon.htm>
- Yasumoto T. 1998. Fish poisoning due to toxins of microalgal origin in the Pacific. Toxicon 36:1515–18.
- Zug G.R., Balazs G.H., Wetherall J.A., Parker D.M. and Murakawa S.K.K. 2002. Age and growth of Hawaiian green sea turtles (*Chelonia mydas*): an analysis based on skeletochronology. Fisheries Bulletin 100:117–127.

Notes

- i. Le temps nécessaire à la moitié des atomes d'une substance radioactive pour se désintégrer sous une autre forme nucléaire est la période radioactive (ou demi-vie) ($T_{1/2}$). En pratique, 7–10 demi-vies indiquent combien de temps un isotope reste radioactif tandis qu'il se désintègre pour devenir un isotope "fils" qui reste aussi radioactif pendant 7–10 demi-vies en se transformant en isotope fils, et ainsi de suite jusqu'à ce que la radioactivité décroisse au point d'aboutir à un noyau stable (ANV et USDOE 2007). Pour évaluer le risque, tous les éléments radioactifs d'une série de décroissances doivent être pris en compte. Cette notion de demi-vie est illustrée par la figure ci-dessous (source : Uranium Information Center, Melbourne, Australie, www.uic.com.au/ral.htm) :

Décroissance radioactive : au bout de 10 périodes de demi-vie, le niveau de rayonnement est réduit à un millier



Temps : Une période de demi-vie deux trois quatre cinq six sept huit neuf

^{238}Pu , ^{239}Pu et ^{240}Pu sont des isotopes du plutonium qui ont une période de demi-vie de 87 ans, 24 065 ans et 6 537 ans respectivement. Au fur et à mesure que la radioactivité du plutonium décroît, il produit un rayonnement et forme des produits de désintégration. Les produits de désintégration de ^{238}Pu et ^{239}Pu sont respectivement l'uranium 234 (^{234}U) et l'uranium 235 (^{235}U). La période ($T_{1/2}$) de ^{235}U est de 710 millions d'années, et celle de ^{234}U , 250 000 ans. Pendant le processus de désintégration, des rayonnements sont émis sous forme de particules alpha et bêta, ainsi que des rayons gamma. Mélangés au sol, ces isotopes de plutonium présentent un risque potentiel en cas d'inhalation et d'ingestion. Le plutonium peut rester dans les poumons ou pénétrer les os, le foie ou d'autres organes. Le plutonium, qu'il n'est pas facile d'extraire, demeure dans l'organisme pendant des dizaines d'années et continue d'exposer les tissus proches aux rayonnements. L'inhalation ou l'ingestion de plutonium augmente les risques pour un individu de développer un cancer, mais les effets de celui-ci peuvent ne se manifester qu'au bout de plusieurs années (US EPA 2006). Lorsque de l'uranium pénètre dans l'organisme, les rayonnements et la toxicité chimique peuvent entraîner un cancer ou d'autres problèmes de santé, le principal organe touché étant les reins (US EPA 2006).

- ii. Le strontium-90 (^{90}Sr) a une période de demi-vie de 29 ans. Il émet des particules bêta d'énergie relativement faible au fur et à mesure que sa radioactivité décroît. Le strontium 90 se désintègre en yttrium 90 (^{90}Y). En se désintégrant, les isotopes d'yttrium émettent des particules bêta. Ces particules traversent la peau mais ne peuvent pas pénétrer dans l'organisme tout entier. L'yttrium 90 a une période de demi-vie plus courte (64 heures) que le strontium 90, mais il émet des particules bêta de plus grande énergie. Le strontium présent dans l'environnement peut être absorbé par la chaîne alimentaire. Une fois du strontium 90 ingéré, 20 à 30 pour cent sont absorbés par le tube digestif, le reste étant excrété. Pratiquement, la totalité de la partie absorbée (99 pour cent) de ^{90}Sr se dépose dans la masse osseuse ou le squelette. Le reste se répartit dans le système sanguin, les fluides extracellulaires, les tissus mous et la surface des os, où il peut se fixer et se désintégrer, ou être métabolisé et rejeté par les voies urinaires et dans les matières fécales. Le strontium 90 se comporte comme le calcium dans l'organisme humain, et se dépose généralement dans les os et les tissus hématopoïétiques (moelle osseuse). C'est pourquoi on le qualifie de "substance ostéotrope". L'exposition au strontium 90 augmente le risque de plusieurs maladies, telles que cancer des os, cancer des tissus mous près des os et leucémie (US EPA 2006).
- iii. Le zirconium 95 (^{95}Zr) compte parmi les radionucléides à longue durée de vie, avec une demi-vie physique de 65 jours. Il se désintègre en niobium 95 (^{95}Nb), dont la demi-vie physique est de 35 jours (les végétaux aquatiques absorbent rapidement le zirconium soluble (KAERI 2000)). Le zirconium peut être absorbé par l'organisme, par consommation d'aliments, d'eau ou inhalation d'air. L'absorption gastrointestinale avec des aliments ou de l'eau est la principale source de zirconium déposé dans l'organisme. La moitié du zirconium absorbé par le sang se dépose dans le squelette avec une demi-vie biologique de 8 000 jours, et l'autre moitié se dépose dans tous les autres organes et tissus où il demeure avec une demi-vie biologique de sept jours (selon des modèles simplifiés qui ne reflètent pas la redistribution intermédiaire). Le zirconium n'étant pas un élément constituant essentiel de la masse des minéraux du tissu osseux, la quantité déposée dans le squelette reste à la surface des os et n'est pas absorbée en profondeur. Une fois qu'il a pénétré dans l'organisme, le zirconium présente un risque sanitaire du fait des particules bêta et des rayonnements gamma, ainsi qu'une probabilité accrue d'induction d'un cancer (ANV et USDOE 2007).
- iv. La majeure partie des rayonnements résultant de la désintégration du cobalt 60 (^{60}Co) est émise sous forme de rayons gamma, et une partie sous forme de particules bêta. Les particules bêta sont généralement absorbées par la peau mais ne pénètrent pas dans la totalité de l'organisme. En revanche, les rayons gamma pénètrent l'organisme. La durée de demi-vie du ^{60}Co est de 5,2 ans. Le cobalt 60 peut être ingéré avec les aliments ou inhalé dans la

poussière. Une fois qu'il a pénétré l'organisme, une partie est rapidement éliminée dans les matières fécales. Le reste est absorbé par le sang et les tissus, en particulier le foie, les reins et les os. Le cobalt est expulsé lentement de l'organisme, principalement par les urines. Le ^{60}Co émettant des rayons gamma, il peut affecter la santé, même s'il n'est pas ingéré ou inhalé. L'exposition à de faibles niveaux de rayonnements gamma pendant une période prolongée peut induire un cancer (US EPA 2006).

- v. Le césium 137 (^{137}Cs) est important du fait de sa prévalence, de sa longue durée de demi-vie (30 ans) et de ses effets potentiels sur la santé. Une fois le ^{137}Cs ingéré, il se répartit de manière relativement uniforme dans l'ensemble des tissus mous. On trouve des concentrations légèrement supérieures dans les muscles, et légèrement inférieures dans les os et les graisses. L'exposition à un rayonnement émis par ^{137}Cs peut induire des tumeurs malignes et réduire la longévité. Le césium 137 émet des particules bêta en se désintégrant en isotope de baryum, baryum $^{137\text{m}}$ (durée de demi-vie : 2,6 minutes) qui émet des rayons gamma d'énergie moyenne. Les photons gamma émis par $^{137\text{m}}\text{Ba}$ sous forme de rayonnements ionisants qui peuvent pénétrer l'organisme et irradier les tissus et organes internes (US EPA 2006).
- vi. Des tests de toxicité de 22 métaux et métalloïdes, pratiqués sur des poissons et des amphibiens, ont montré que l'argent était l'élément le plus toxique, d'après les valeurs LC50 (concentration létale 50, dose à laquelle 50 pour cent des individus meurent). En solution, l'argent ionique est extrêmement toxique pour les végétaux et les animaux aquatiques. Parmi les espèces testées, les individus les plus sensibles à l'argent sont les plus mal nourris, les jeunes et ceux exposés à une faible dureté ou salinité de l'eau. Il est souligné que les syndromes de stress induits par l'argent varient considérablement selon les catégories d'animaux. L'argent, sous la forme Ag^+ ionique, est l'un des métaux les plus toxiques connus pour les organismes aquatiques testés en laboratoire. Parmi les signes d'intoxication chronique à l'argent chez les oiseaux et les mammifères testés figuraient la cardiomyopathie hypertrophique, l'hypertension vasculaire, la nécrose hépatique, l'anémie, la baisse d'activité immunologique, l'altération de la perméabilité membranaire, les néphropathies, l'inhibition enzymatique, le ralentissement de la croissance et le raccourcissement de la durée de vie. Des expositions répétées des animaux à l'argent peuvent entraîner anémie, cardiomyopathie hypertrophique, retards de croissance et dégénérescence du foie.
- vii. Les transuraniens sont des "éléments chimiques dont le numéro atomique est supérieur à celui de l'uranium donc à 92. La plupart des isotopes transuraniens sont des radionucléides extrêmement toxiques, émettant des rayonnements alpha d'une grande importance biologique, qui n'existent pas à l'état naturel en quantité significative, mais sont des produits de fission artificiels et qui émettent des rayonnements de beaucoup plus grande énergie que les autres radionucléides. Les principaux nucléides transuraniens sont le neptunium 237, le plutonium 238, 239, 241, l'américium 241 et le curium 242, 244" (RADNET 2007). Les rayonnements alpha sont difficiles à détecter et leurs effets persistent pendant plusieurs années. Leur portée n'est que de quelques centimètres dans l'air mais ils constituent un risque majeur lorsqu'ils sont absorbés par l'organisme.
- viii. L'américium 241 (^{241}Am) a une demi-vie d'environ 432 ans. Au fur et à mesure qu'il se désintègre, il émet des rayonnements et forme des éléments "fils". Le premier produit de décroissance de ^{241}Am est le neptunium 237 (^{237}Np , $T_{1/2} = 2\,144\,000$ ans) qui se désintègre lui-même en d'autres éléments. Le rayonnement émis par désintégration de ^{241}Am et ses fils se fait sous forme de particules alpha, bêta et de rayonnements gamma. L'émission de particules alpha par ^{241}Am présente un risque sanitaire en cas d'ingestion ou d'inhalation. Une fois qu'il a pénétré dans l'organisme, ^{241}Am a tendance à se concentrer surtout dans le squelette, le foie et les muscles. Il demeure généralement dans l'organisme pendant des dizaines d'années et continue d'exposer les tissus proches aux rayonnements. Cela peut augmenter le risque d'induction d'un cancer, bien que les effets du cancer ne se manifestent parfois qu'au bout de plusieurs années. Une exposition externe directe à l'américium peut être dangereuse (US EPA 2006). Le neptunium-237 est généralement plus mobile que d'autres transuraniens, et peut atteindre, par percolation des eaux, les couches profondes du sol. Le neptunium adhère de préférence aux particules du sol ; on estime que la concentration associée aux particules de sols sablonneux est environ cinq fois supérieure à celle des eaux interstitielles (eau présente dans les espaces poreux entre particules du sol). Le neptunium est facilement absorbé par les végétaux, et les concentrations dans les végétaux sont généralement similaires aux concentrations dans le sol. Le neptunium peut être absorbé par l'organisme par consommation d'aliments, d'eau, ou inhalation d'air. Le dépôt interne de neptunium s'explique probablement par une absorption gastrointestinale. Après ingestion ou inhalation, la majeure partie du neptunium est excrétée de l'organisme en quelques jours. Le neptunium ne pénètre jamais le système sanguin ; 0,05 pour cent seulement de la quantité absorbée par l'organisme par ingestion est captée par le sang. Une fois qu'il a quitté l'intestin ou les poumons, 50 pour cent environ du neptunium qui a pénétré le système sanguin se dépose dans le squelette, près de 10 % dans le foie, et 5 % environ dans d'autres tissus mous, le reste étant expulsé, principalement dans l'urine. La demi-vie biologique dans le squelette et le foie est respectivement de 50 et 20 ans (selon des modèles simplifiés qui ne reflètent pas la redistribution intermédiaire). La quantité de neptunium qui se dépose dans le foie et le squelette dépend de l'âge de l'individu, le pourcentage d'absorption par le foie augmentant avec l'âge. Dans le squelette, le neptunium se dépose à la surface des os et se redistribue lentement à travers la masse osseuse au fil du temps. Il ne présente généralement un risque pour la santé que s'il pénètre dans l'organisme. Il existe toutefois un risque externe en cas d'association avec les rayonnements gamma émis par ^{237}Np et son produit de désintégration de courte vie, le protactinium 233. Les rayonnements

ionisants émis par les isotopes du neptunium qui se déposent à la surface des os et dans le foie risquent d'induire un cancer (ANL et USDOV 2007).

- ix. La demi-vie de l'euporium 155 (^{155}Eu) est d'environ cinq ans. Les isotopes d'euporium se désintègrent en émettant des particules bêta et gamma. L'euporium peut être absorbé par l'organisme par consommation d'aliments ou d'eau ou inhalation d'air. Dans la population, l'absorption gastrointestinale par consommation d'aliments ou d'eau est la principale cause de dépôt d'euporium 155 dans l'organisme. Une fois ingéré, l'euporium n'est pas bien absorbé dans l'organisme : 0,05 % seulement de la quantité ingérée passe dans la circulation sanguine par les voies digestives. Sur la quantité d'euporium 155 qui passe dans le sang, 40 % se dépose dans le foie, et 40 % à la surface des os, d'où elle peut irradier les cellules responsables de l'ostéogénèse. Ce ^{155}Eu déposé demeure dans l'organisme, où il a une demi-vie biologique de près de 10 ans (3 500 jours) ; 6 % du ^{155}Eu absorbé se dépose dans les reins, où il a une brève demi-vie biologique de 10 jours (selon des modèles simplifiés qui ne reflètent pas la redistribution intermédiaire). Le reste du ^{155}Eu est éliminé par excrétion. Tant qu'il demeure dans l'organisme, l'euporium constitue un risque pour la santé du fait des rayonnements de particules bêta et gamma ; il accroît la probabilité de cancer du foie et des os (ANV et USDOE 2007).
- x. L'élément béryllium ne se dégrade pas et ne peut pas être détruit. L'inhalation de béryllium peut provoquer deux types de maladie respiratoire : la béryllose aiguë et la béryllose chronique, ces deux formes pouvant être mortelles. La maladie aiguë se déclare généralement après une exposition à des doses élevées (plus de 1 mg/m^3) des formes relativement solubles de béryllium ; les symptômes vont de l'inflammation des voies nasales à la pneumonie chimique sévère. Certains sujets peuvent contracter une béryllose chronique suite à l'inhalation de faibles doses ; elle affecte moins de 15 % des personnes exposées à plus de $0,0005 \text{ mg/m}^3$. Cette maladie est un type de réponse immunitaire qui n'est observée que chez des individus sensibilisés, et elle implique la formation de granulomes et le développement d'une fibrose pulmonaire. Il peut y avoir une période de latence prolongée (jusqu'à 25 ans) avant que les symptômes ne se manifestent. L'USEPA décrit le béryllium comme un agent cancérigène probable chez l'homme (ANV et USDOE 2007).