



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

BILAN DE LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ EN POLYNÉSIE FRANÇAISE EN 2021-2022

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DU RÉSEAU DE SURVEILLANCE DE L'IRSN



MEMBRE DE

ETSON

L'EXPERT PUBLIC DES RISQUES NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES

Expertiser, rechercher, protéger, anticiper, partager; telles sont les missions de l'IRSN au service des pouvoirs publics et de la population.

La singularité de l'Institut réside dans sa capacité à associer chercheurs et experts pour anticiper les questions à venir sur l'évolution et la maîtrise des risques nucléaires et radiologiques.

Les femmes et les hommes de l'IRSN ont à cœur de faire connaître leurs travaux et de partager leurs savoirs avec la société. Ils contribuent ainsi à améliorer l'accès à l'information et le dialogue avec les parties prenantes.

L'Institut concourt aux politiques publiques de sûreté et sécurité nucléaires, de santé, d'environnement et de gestion de crise.

Établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), sous la tutelle conjointe du ministre chargé de l'Environnement, du ministre de la Défense, et des ministres chargés de l'Énergie, de la Recherche et de la Santé, l'IRSN inscrit pleinement son action dans les politiques de modernisation de l'État avec sa démarche de management des risques et la mise en œuvre d'une politique globale en matière de responsabilité sociétale.

Dans le cadre de ses missions, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) contribue notamment à la veille permanente en radioprotection sur le territoire national. À cet égard, la surveillance radiologique de l'environnement réalisée par l'IRSN participe :

- à la vérification du fonctionnement des installations qui rejettent de la radioactivité dans l'environnement;
- à l'analyse de l'évolution des niveaux de radioactivité – dans le temps et l'espace – et à la détection d'élévations inhabituelles de ces niveaux;
- à l'évaluation de l'exposition des populations et des écosystèmes aux rayonnements ionisants;
- à la mise en place de moyens susceptibles d'être mobilisés en situation d'urgence radiologique ou en situation post-accidentelle;
- à la qualification des modèles de dispersion de la radioactivité dans l'environnement et d'évaluation de ses impacts.

Elle est assortie d'une obligation de transparence qui conduit l'Institut à publier régulièrement ses résultats de mesure et des synthèses sur l'état radiologique des territoires.

L'INSTITUT
COMPTE
ENVIRON **1 816**
COLLABORATEURS

parmi lesquels
de nombreux
ingénieurs,
médecins,
agronomes,
vétérinaires,
techniciens,
experts
et chercheurs.

Pour mener à bien
ses missions,
l'IRSN dispose
**D'UN BUDGET
D'ENVIRON
271 M€**

1. INTRODUCTION	6
1•1 L'antenne polynésienne de l'IRSN	6
1•2 Présentation du bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2021-2022	7
2. DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE ET DU MODE DE VIE DE SES HABITANTS	8
3. LOCALISATIONS ET PRÉLÈVEMENTS	10
3•1 Types de prélèvements et fréquence	10
Surveillance des milieux	
Surveillance des denrées alimentaires	
3•2 Lieux de prélèvements	11
4. NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION	12
4•1 Concentration de la radioactivité dans les échantillons des milieux	13
Radioactivité de l'air	
Radioactivité de l'eau	
Radioactivité dans les sols	
Commentaires des principaux résultats d'analyse des sols	
4•2 Concentration de la radioactivité dans les denrées alimentaires	22
Milieu marin	
Milieu terrestre	
5. EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE	32
5•1 Sources d'exposition	32
5•2 Evaluation des doses efficaces annuelles en Polynésie française	34
Dose efficace annuelle liée à l'exposition externe	
Dose efficace annuelle liée à l'inhalation	
Dose efficace annuelle liée à l'ingestion	
Dose efficace annuelle totale	
6. CONCLUSION	40
7. RÉFÉRENCES	42

RÉSUMÉ

La surveillance radiologique de l'environnement, exercée par le Laboratoire d'Étude et de Suivi de l'Environnement (LESE) de l'IRSN depuis 1962 en Polynésie française hors des sites d'expérimentations nucléaires de Moruroa et Fangataufa, consiste à prélever régulièrement des échantillons de nature variée dans les différents milieux (atmosphérique, terrestre et marin) avec lesquels la population peut être en contact ainsi que des denrées alimentaires issues du milieu marin de pleine mer, du milieu marin lagunaire et du milieu terrestre. En 2021-2022, les denrées proviennent de quatorze îles (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva, Tubuai, Moorea, Rapa, Pukarua, Reao, Vahitahi, Vairaarea et Nukutavake-Pinaki) localisées dans les cinq archipels ainsi que de deux îles (Raivavae et Hikueru) où ont été prélevés uniquement des bénitiers. Les prélèvements d'aérosols de l'air, d'eau de mer, et d'eau de pluie ont, pour leur part, été effectués à Tahiti.

Les niveaux de radioactivité artificielle dans les différents milieux sont dans la continuité de ceux des années antérieures ; ils se situent à un niveau très bas. Cette radioactivité résiduelle est essentiellement attribuable au césium 137 (^{137}Cs).

La dose efficace annuelle pour les adultes de Tahiti, somme des doses associées à l'irradiation externe, à l'ingestion et à l'inhalation des radionucléides, est de l'ordre de 1,4 mSv/an⁽¹⁾. Elle est quasi-totalement attribuable au rayonnement cosmique et à la radioactivité naturelle ; la radioactivité d'origine artificielle ne représentant que de l'ordre de 0,1 % de la dose efficace totale. Cette exposition est plus faible que l'exposition moyenne annuelle de la population en métropole, qui est de l'ordre de 3 mSv, hors exposition médicale.

L'exposition naturelle peut cependant être plus élevée pour certaines populations comme des habitants d'atolls qui consomment de grandes quantités de bénitier (mollusque bivalve très abondant dans les lagons). Les analyses effectuées sur un grand nombre de ces mollusques montrent des concentrations élevées en polonium 210 (^{210}Po) et en plomb 210 (^{210}Pb), radionucléides d'origine naturelle.

(1) En retenant pour l'inhalation du radon le coefficient de dose réglementaire à la date de publication de ce rapport (IRSN, 2021b). La valeur serait de 1,7 mSv/an en appliquant le coefficient de dose de la publication 137 de la CIPR (2017).

ABSTRACT

Radiological monitoring of the French environment carried out in Polynesia, outside the Moruroa and Fangataufa nuclear test sites, has been conducted by IRSN's Laboratory for the Study and Monitoring of the Environment (LESE) since 1962. It consists of regular sampling of the atmospheric, terrestrial and marine environments as well as of foodstuffs. In 2021-2022, foodstuffs were collected in fourteen islands (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva, Tubuai, Moorea, Rapa, Pukarua, Reao, Vahitahi, Vairaarea and Nukutavake-Pinaki) representing the five archipelagos and in two other islands (Raivavae and Hikueru) where giant clams were collected.

The levels of radioactivity measured are consistent with those measured in previous years; they are at a very low level. This residual radioactivity comes mainly from ^{137}Cs .

The annual effective dose calculated in 2021-2022 for adults in Tahiti, when adding the doses associated with external irradiation, ingestion and inhalation of radionuclides, is of the order of 1.4⁽²⁾ mSv/year. It is almost entirely attributable to cosmic radiation and natural radioactivity, as radioactivity of artificial origin represents only around 0.1% of the total effective dose. This exposure is lower than the average annual exposure of the population in metropolitan France, which is around 3 mSv, excluding medical exposure.

However, this natural exposure can be higher for specific individuals like populations of atolls that consume large quantities of giant clams (very abundant bivalve mollusc in lagoons). Analyses of a large number of these molluscs show high concentrations of polonium-210 (^{210}Po) and lead-210 (^{210}Pb), natural radionuclides.

(2) Taking into account the dose coefficient for radon recommended by the authorities, at the date of publication of this report (IRSN, 2021b). The value would be 1.7 mSv/year applying the dose coefficient from of the ICRP publication (2017).

1

INTRODUCTION

1.1

L'ANTENNE POLYNÉSIEENNE DE L'IRSN

Le LESE (Laboratoire d'Étude et de Suivi de l'Environnement), antenne polynésienne de l'IRSN, est implanté à Vairao depuis 2009, après avoir été basé durant quarante-quatre ans à Mahina. Depuis 1966, le rapport annuel (biennuel depuis 2017) correspondant à la surveillance radiologique de l'environnement, hors les sites d'expérimentations de Moruroa et Fangataufa, est transmis à l'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).

Cette surveillance a été mise en place à l'époque des essais aériens d'armes nucléaires effectués par les grandes puissances militaires (États-Unis, Union soviétique, Royaume-Uni, France, Chine).

Ces essais atmosphériques réalisés entre 1945 et 1980 ont généré des retombées de radionucléides artificiels sur l'ensemble de la surface de la planète. En Polynésie française, le LESE s'est plus particulièrement intéressé aux retombées des quarante et un essais atmosphériques réalisés par la France dans cette région du globe entre 1966 et 1974 et à leurs conséquences sur les populations. La surveillance de la radioactivité en Polynésie française a commencé dès 1962, antérieurement à l'ouverture du Centre d'Expérimentation du Pacifique (CEP) en 1964. Dès l'origine, cette surveillance s'inscrivait dans le cadre plus large du Réseau Mondial Français de Surveillance Radiologique (RMFSR).

Aujourd'hui, de la même manière qu'en métropole, le LESE poursuit la surveillance au titre de sa mission de veille permanente en matière de radioprotection.

Actuellement, la radioactivité d'origine artificielle est essentiellement due à la rémanence des retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires en Polynésie française (retombées locales/régionales) et dans le reste du monde (retombées mondiales) – ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^3H , ^{14}C , ^{237}Np et isotopes de l'uranium et du plutonium – à laquelle s'ajoutent les retombées de ^{238}Pu issues de la désintégration du satellite SNAP-9A en 1964 :

- la part de ces radionucléides se retrouvant dans l'air sous forme d'aérosols est aujourd'hui négligeable ;
- la plupart se trouvent dans les sols, sous forme de dépôt ou incorporés au substrat terrestre, certains d'entre eux contribuent alors à l'irradiation externe ;
- ils peuvent ensuite être incorporés dans les denrées issues de la culture ou de la pêche locales et constituent ainsi une source de contamination par ingestion.

La surveillance est focalisée sur sept îles sélectionnées depuis 1998 pour être représentatives des cinq archipels de la Polynésie française auxquelles s'ajoutent une île supplémentaire différente chaque année depuis 2015. Elle consiste à prélever régulièrement et à mesurer la radioactivité des échantillons de nature variée (air, eau, sol, denrées alimentaires...). En 2022, des échantillonnages ont pu être réalisés dans sept îles supplémentaires. Six de ces îles, très peu accessibles, ont pu être échantillonnées en bénéficiant de l'accès lors de missions administratives du Haut-Commissariat.

1.2

PRÉSENTATION DU BILAN DE LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ EN POLYNÉSIE FRANÇAISE EN 2021-2022

Une vocation environnementale renforcée

La diminution dans l'environnement des niveaux de radioactivité d'origine artificielle et la nécessité de mieux répondre à des demandes sociétales conduit le LESE à infléchir progressivement sa stratégie de surveillance, en réorientant son réseau de mesures à vocation initialement sanitaire, vers un réseau qui doit permettre de mesurer aussi finement que possible les niveaux de radioactivité encore observables aujourd'hui dans l'environnement.

Des expertises ponctuelles

En complément de cette surveillance pérenne, le LESE effectue des expertises ponctuelles pour le compte des autorités du Pays (Direction de l'Environnement, Direction Générale des Affaires Économiques...) ou pour le compte d'organismes de l'État ou d'entreprises privées comme par exemple pour le contrôle des anciens sites du CEP (Centre d'Expérimentation du Pacifique) lors de leurs déconstructions.

Appui aux pouvoirs publics en situation de crise

Le faible nombre d'installations nucléaires dans l'hémisphère sud, éloignées des territoires français du Pacifique, rend très improbable une situation de crise radiologique. Cependant, même si un accident survenait dans l'hémisphère nord, sans transfert de la radioactivité par voie atmosphérique et par l'eau océanique, les échanges commerciaux et la migration des poissons nécessiteraient des mesures de contrôle. Ainsi, en mai 2011, l'IRSN a renforcé ses contrôles pour confirmer l'absence d'impact radiologique par voie atmosphérique en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie pendant plusieurs semaines après l'accident nucléaire au Japon.

Le présent rapport concerne le bilan de la surveillance radiologique pour les années 2021 et 2022 en Polynésie française. Compte tenu des très faibles évolutions d'une année à l'autre des niveaux de radioactivité dans les différents échantillons prélevés et de la constance des estimations dosimétriques à la population qui en résultent, l'IRSN a décidé de diminuer à partir de 2017 la fréquence de parution du bilan en passant d'une fréquence annuelle à une parution tous les deux ans. La fréquence du prélèvement de certaines matrices et le nombre d'analyses ont été en conséquence adaptés (IRSN, 2020a). Ce bilan, comme les précédents, s'appuie sur les résultats des analyses effectuées sur différentes matrices de l'environnement. Les derniers résultats de mesure de la radioactivité dans les sols ainsi que ceux des autres milieux et des denrées sont présentés. Quelques chroniques temporelles servent à rendre compte de l'évolution de la concentration des radionucléides artificiels dans les milieux et dans les denrées. La radioactivité naturelle élevée dans les bénitiers est discutée ainsi que l'impact radiologique pour les populations qui en consomment de grandes quantités. Enfin, une évaluation de l'exposition radiologique des populations est discutée.

Une annexe à ce rapport, consultable sur le site internet de l'IRSN (www.irsn.fr), présente de façon exhaustive les résultats des mesures effectuées en 2021-2022. Ces résultats sont aussi accessibles sur le site www.mesure-radioactivite.fr intitulé Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

2

DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE ET DU MODE DE VIE DE SES HABITANTS

La Polynésie française, presque 3 000 km d'est en ouest et 2 000 km du nord au sud, représente dans le Pacifique sud une surface de 5 millions de kilomètres carrés d'océan pour une superficie de terres émergées d'environ 3 500 km². Elle est constituée de 118 îles, hautes et atolls, regroupées en cinq archipels : Société, Tuamotu, Gambier, Australes et Marquises. Seules 76 îles sont habitées et l'essentiel de la population vit sur l'île de Tahiti (70 %). Environ 280 000 habitants ont été recensés en 2022 en Polynésie française (INSEE, 2023).

Du fait de la grande étendue de la Polynésie, les conditions climatiques sont diverses et même très variables localement à petites distances (cas de la pluviométrie en particulier). Le climat des Marquises, des Tuamotu et de la Société est tropical humide alors que le climat des Australes et des Gambier est proche de celui des zones tempérées. Les températures chaudes, le bon ensoleillement, les précipitations modérées avec des contrastes saisonniers relativement faibles favorisent un mode de vie essentiellement à l'extérieur des habitations.

Les îles hautes

Les îles hautes sont des îles récentes pouvant culminer jusqu'à plus de 2 000 m, avec parfois des vallées étroites et encaissées, et dont les barrières récifales sont quelquefois incomplètes (Tahiti) ou inexistantes (îles des Marquises). L'habitat est situé pour l'essentiel au niveau de la ceinture littorale. Les cultures maraîchères et fruitières de même que l'élevage y sont pratiqués ainsi que la pêche.

À Tahiti, le régime alimentaire est varié et les productions en provenance de Tahiti et des autres îles peuvent y être trouvées en abondance (poissons, mollusques, crustacés, légumes, fruits, viandes). On y trouve également des produits importés, principalement de métropole, de Nouvelle-Zélande, des États-Unis et d'Asie.

Les autres îles hautes sont un peu moins bien approvisionnées que Tahiti en diversité de produits mais disposent d'un large éventail de denrées locales (fruits, légumes, produits de la pêche) et de denrées de première nécessité importées (riz, farine, huile, sucre...) arrivant par liaisons maritimes régulières.



Hiva Oa (archipel des Marquises)

Les atolls

Les atolls sont des îles plus anciennes pour lesquelles la barrière récifale est fermée ou quasiment fermée et constitue la seule part de terre émergées, l'île volcanique centrale s'étant petit à petit enfoncée au cours des millénaires passés. Ces îles basses ou atolls sont de simples anneaux de corail, à fleur d'eau, avec essentiellement des plantations de cocotiers.

Le régime alimentaire de leurs habitants est principalement constitué des produits de la pêche locale, de lait et d'eau de coco ainsi que de viande de porc et de poulet provenant de quelques élevages familiaux. Les denrées importées et en provenance des autres îles sont, en général, moins nombreuses et arrivent plus irrégulièrement que dans les îles hautes.



Pinaki (atoll des Tuamotu de l'est)

3

LOCALISATIONS ET PRÉLÈVEMENTS

3.1

TYPES DE PRÉLÈVEMENTS ET FRÉQUENCE

La sélection des prélèvements est orientée en fonction des objectifs de la surveillance :

- suivre les niveaux de la radioactivité d'origine artificielle dans l'environnement et dans les denrées alimentaires ;
- estimer l'exposition radiologique des populations.

On distingue deux types de prélèvements : un dans les milieux et un dans les denrées alimentaires.

Surveillance des milieux

Il s'agit de prélèvements d'aérosols de l'air, d'eau de mer, d'eau de pluie et de sols. Les prélèvements d'aérosols sont effectués tous les mois durant une dizaine de jours consécutifs, soit douze échantillonnages annuels. Les prélèvements d'eau de pluie sont semestriels et effectués en continu. Les prélèvements d'eau de mer sont ponctuels et réalisés une fois par an. Aucun prélèvement de sol n'a été effectué en 2021 et 2022.

Surveillance des denrées alimentaires

Il s'agit de prélèvements de denrées alimentaires locales (boissons, viandes, légumes feuilles, légumes fruits, légumes racines, fruits, poissons pélagiques, poissons de lagon, bénéitiers) complétés par des produits importés (lait, viande d'agneau, viande de bœuf et riz). La baisse continue des niveaux de radioactivité dans l'environnement dans un contexte où il n'y a pas de source de contamination potentielle nouvelle ont conduit le laboratoire à adapter ses plans de prélèvements. Les constats réalisés ces dernières années montrent que pour une proportion relativement importante d'échantillons les teneurs en ^{137}Cs ne sont plus quantifiables malgré les protocoles d'analyse les plus performants dans le domaine de la mesure des traces. Seules quelques denrées communes à plusieurs îles ont été conservées comme bioindicateurs dans les différents milieux afin d'observer l'évolution temporelle de la concentration en ^{137}Cs .

La dose efficace par ingestion pour l'île de Tahiti a été estimée à partir des résultats d'analyses d'une série de plateaux-repas prélevés de 2016 à 2020. Cette moyenne étant considérée représentative pour le début des années 2020, il n'y a pas eu d'analyses de plateaux-repas en 2021 ni en 2022.

3.2

LIEUX DE PRÉLÈVEMENTS

L'échantillonnage dans les milieux est réalisé à Tahiti, hormis pour l'étude spécifique des sols pour laquelle une étude sur plusieurs années permet d'estimer un inventaire de la radioactivité déposée sur le territoire. Les derniers prélèvements de sols de cette étude ont été effectués à Maupiti (archipel de la Société) en 2019.

L'échantillonnage des denrées alimentaires a concerné, en 2021-2022, 16 îles, soit 8 îles hautes et 8 atolls. Sept de ces 16 îles, soit 5 îles hautes et 2 atolls, sont échantillonnées chaque année depuis 1998.

Le choix de ces îles répond à plusieurs impératifs :

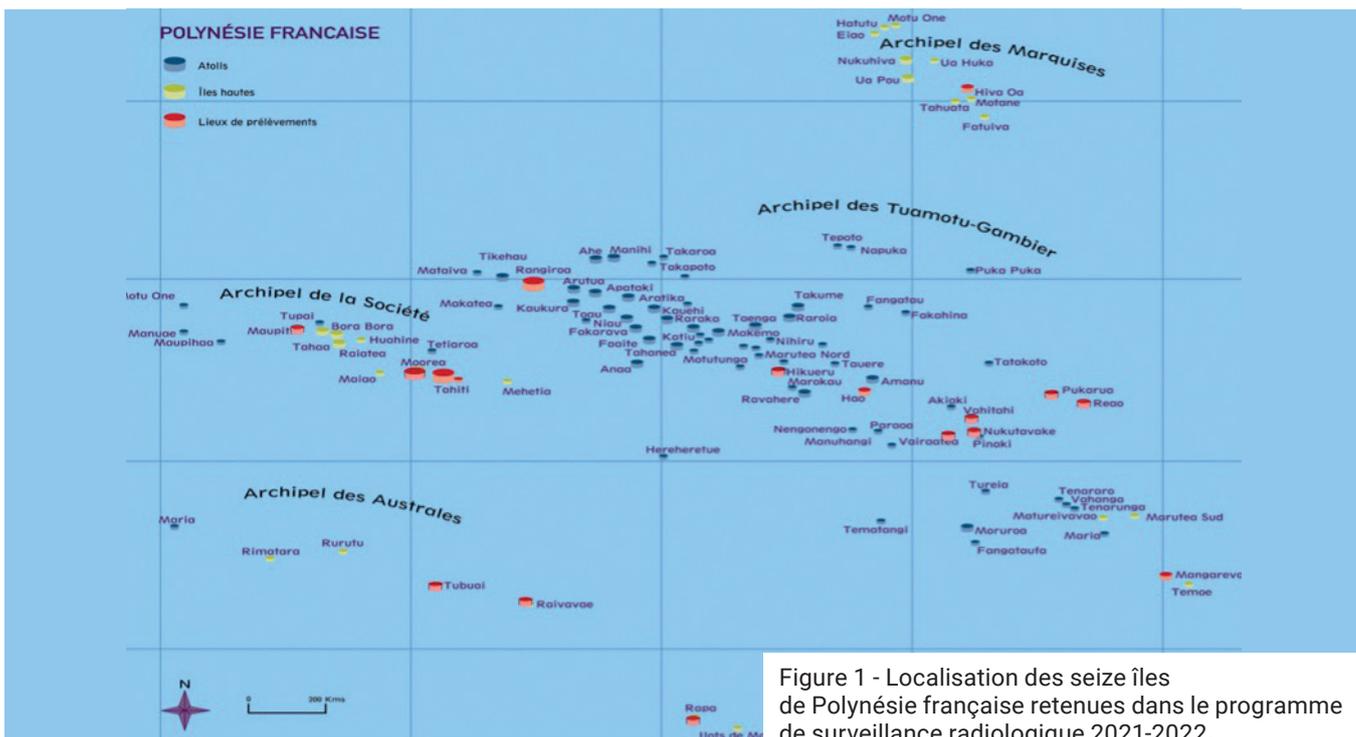
- couvrir géographiquement l'ensemble du territoire;
- représenter les cinq archipels ainsi que les deux catégories d'îles;
- tenir compte de la démographie en retenant les îles les plus peuplées;
- prendre en compte la position des deux atolls de Moruroa et Fangataufa, supports des essais nucléaires atmosphériques français de 1966 à 1974;

- disposer de données récentes sur au moins une autre île chaque année (9 autres îles pour ce rapport).

Les sept îles régulières sont les îles hautes de Tahiti et Maupiti situées dans l'archipel de la Société, de Mangareva située dans l'archipel des Gambier, de Tubuai située dans l'archipel des Australes, et de Hiva Oa située dans l'archipel des Marquises, ainsi que les atolls de Rangiroa et Hao situés dans l'archipel des Tuamotu.

Les îles supplémentaires retenues en 2021 et 2022 sont les îles hautes de Moorea (archipel de la Société) et de Rapa (archipel des Australes). Des prélèvements ont aussi été effectués en 2022 dans cinq atolls des Tuamotu de l'est : Pukarua, Reao, Vahitahi, Vairaatea, Nukutavake-Pinaki. Un échantillonnage de bénitier a été effectué à Raivavae (archipel des Australes) en 2021 et un autre à Hikueru (archipel des Tuamotu) en 2022. La localisation de ces seize îles est indiquée sur la carte de la Figure 1.

Les échantillons biologiques de Tahiti, de Moorea, de Rapa, de Raivavae et des cinq atolls des Tuamotu de l'est ont été collectés par le personnel du laboratoire. Une partie de ces prélèvements a été effectuée en bénéficiant de l'accès à l'île de Rapa et aux cinq atolls des Tuamotu de l'est lors de missions administratives du Haut-Commissariat. Le prélèvement sur l'atoll de Hikueru a été effectué par le CRILOBE (Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement) de Moorea. Pour les autres îles, les collectes et les envois des échantillons ont été pris en charge par six correspondants locaux permanents.



4

NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION

En 2021, le nombre total de prélèvements réalisés est de **154**
139 denrées alimentaires et 15 dans les milieux.

En 2022, le nombre total de prélèvements réalisés est de **172**
159 denrées alimentaires et 13 dans les milieux.

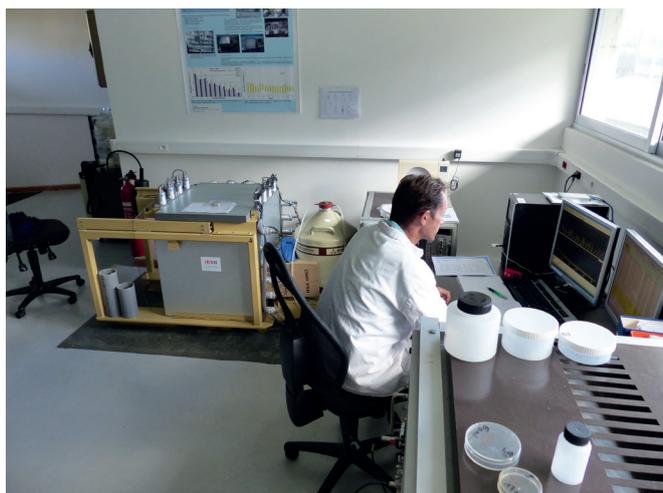


Figure 2 - Laboratoires de mesure gamma et de radiochimie.

Le LESE dispose d'équipements dédiés à la mesure directe non destructive par spectrométrie gamma et destructive par spectrométrie alpha (Figure 2). La spectrométrie gamma est employée pour mesurer simultanément un très grand nombre de radionucléides d'origines artificielle et naturelle. La spectrométrie alpha précédée d'une radiochimie sélective est adaptée à la quantification du plutonium (Pu) et permet de distinguer l'isotope 238 des isotopes 239 et 240. Pour ces derniers, la différence d'énergie de leurs émissions alpha respectives n'étant pas assez importante pour les différencier, le résultat concerne la somme de leurs activités ($^{239+240}\text{Pu}$). Les protocoles (préparation, chimie, mesure) mis en œuvre sont parmi les plus performants pour la recherche de traces de radioactivité artificielle dans l'environnement.

Toutes les mesures de radioactivité ont été réalisées à Tahiti par le LESE à l'exception :

- des analyses gamma des filtres d'aérosols, effectuées par le laboratoire de l'IRSN d'Orsay (91) ;
- des analyses alpha pour quantifier le ^{210}Po dans les bénitiers, effectuées par le laboratoire de l'IRSN du Vésinet (78) ;
- des analyses alpha et ICPMS HR des échantillons de sols, effectuées au laboratoire de l'IRSN d'Orsay (91).

4.1

CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS DES MILIEUX

Radioactivité de l'air

Le Tableau 1 compare les concentrations moyennes annuelles de 2020 à 2022 pour les cinq radionucléides mesurés par spectrométrie gamma, ^{137}Cs , ^7Be , ^{22}Na , ^{40}K et ^{210}Pb , dans les filtres des aérosols prélevés à Tahiti (Figure 3) et à Orsay. Ces moyennes annuelles sont calculées à partir des concentrations mensuelles mesurées pondérées des volumes d'air filtrés fournis dans les tableaux AI-1 à AI-4 du rapport Annexes (IRSN, 2023).



Figure 3. Station haut débit pour le prélèvement sur filtre des aérosols.

Tableau 1

Comparaison des concentrations moyennes annuelles ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) des ^{137}Cs , ^7Be , ^{22}Na , ^{40}K et ^{210}Pb dans les aérosols prélevés sur filtres à Tahiti et à Orsay (Essonne) de 2020 à 2022.

Radionucléides	Concentrations moyennes annuelles ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)					
	Tahiti (Vairao)			Métropole (Orsay 91)		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Artificiels						
^{137}Cs	0,07 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,10 ± 0,03	0,09 ± 0,03	0,09 ± 0,03
Naturels						
^7Be	3 230 ± 450	3 350 ± 430	2 800 ± 360	3 700 ± 520	3 430 ± 460	3 480 ± 440
^{22}Na	0,20 ± 0,05	0,23 ± 0,05	0,19 ± 0,05	0,33 ± 0,08	0,33 ± 0,08	0,36 ± 0,09
^{40}K	9,0 ± 1,5	7,6 ± 1,2	8,7 ± 1,4	5,7 ± 1,1	5,0 ± 1,0	6,3 ± 1,2
^{210}Pb	83 ± 12	65,9 ± 8,6	54,2 ± 7,0	333 ± 47	313 ± 42	365 ± 47

Le seul radionucléide artificiel émetteur gamma encore détectable dans les aérosols en Polynésie française est le ^{137}Cs . Il témoigne de la faible persistance de la radioactivité introduite dans la haute atmosphère lors d'essais aériens d'armes nucléaires et de la remise en suspension de poussières radioactives déposées au sol. Les résultats mensuels n'excèdent pas $0,08 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ($0,00000008 \text{Bq}/\text{m}^3$) à Tahiti et les moyennes annuelles en 2021-2022 sont comparables à celles des années précédentes et du même ordre de grandeur que celles d'Orsay, en métropole. Les évolutions de l'activité volumique du ^{137}Cs dans l'air à Tahiti et

à Orsay montrent des diminutions similaires, d'environ trois à quatre ordres de grandeur, entre 1971 et 2022 (Figure 4 et Figure 5) avec une variabilité plus élevée en métropole qu'à Tahiti.

Les quatre radionucléides d'origine naturelle mesurés par spectrométrie gamma dans l'air sont des radionucléides cosmogéniques (notamment ^7Be , ^{22}Na , formés dans les hautes couches de l'atmosphère), ainsi que des radionucléides présents dans les sols et mis en suspension dans l'air (^{40}K) ou résultant de la désintégration du gaz radon (^{210}Pb).

Figure 4

Concentration en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ du ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Tahiti de janvier 1971 à décembre 2022.

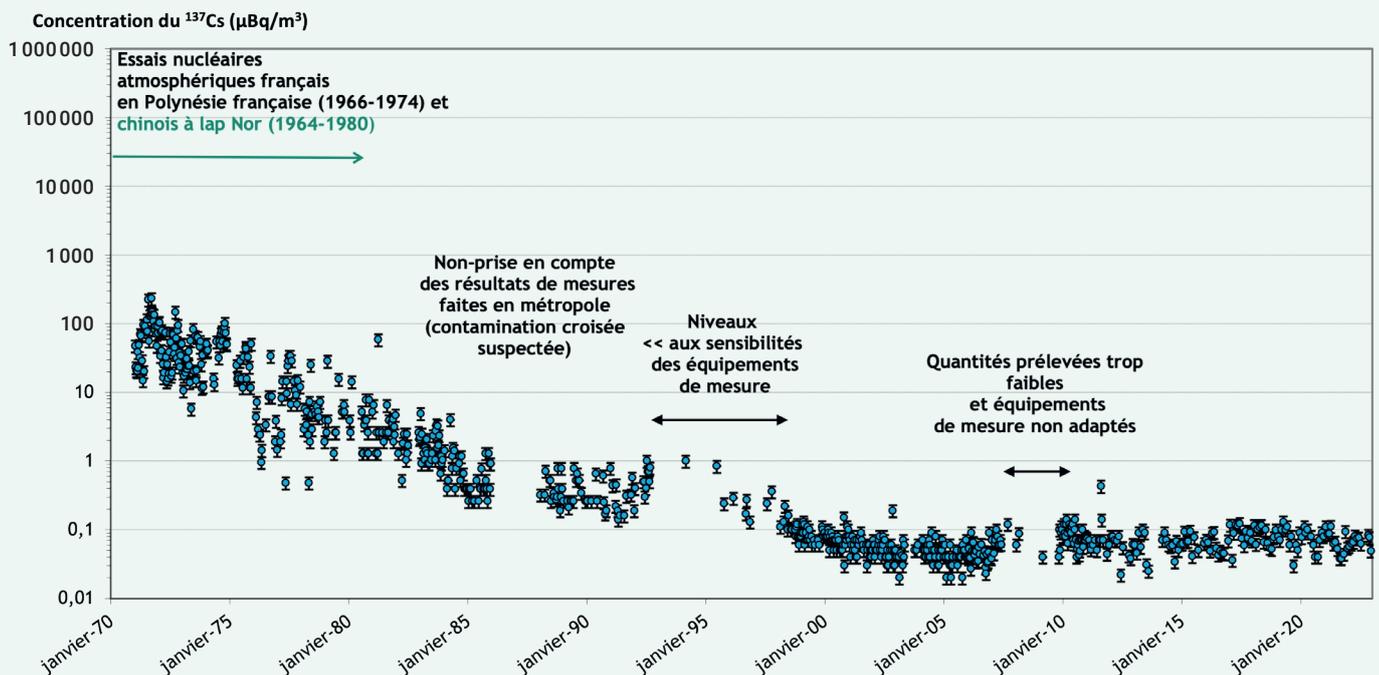
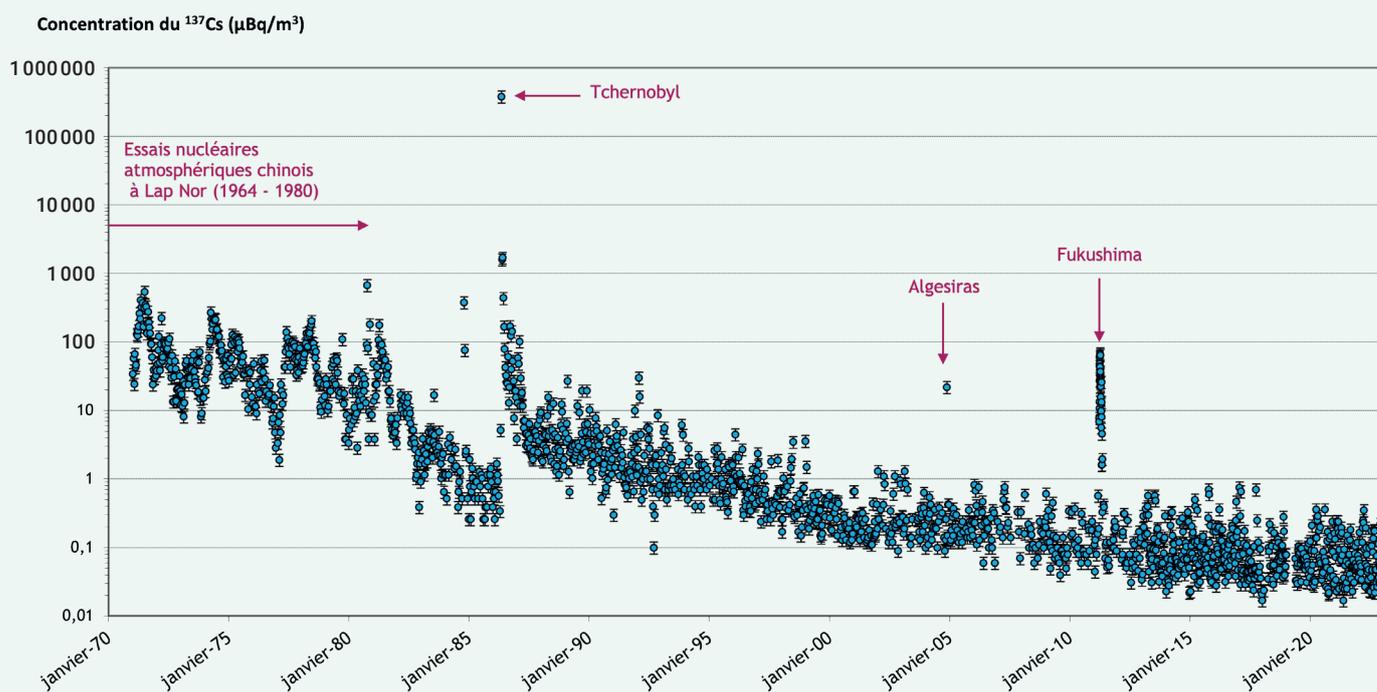


Figure 5

Concentration en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ du ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Orsay (91) de janvier 1971 à décembre 2022.



Radioactivité de l'eau

L'eau de mer

Les prélèvements d'eau de mer, environ 160 litres⁽³⁾, ont été effectués dans le lagon de Vairao à Tahiti (Tableau AI-5 (IRSN, 2023)). La concentration moyenne de ¹³⁷Cs est de $0,90 \pm 0,08$ mBq/L ces deux dernières années.

L'évolution de la concentration du ¹³⁷Cs dans l'eau de mer depuis 1983 est représentée sur la Figure 6. Les données ont été obtenues pour des échantillons prélevés de 1983 à 2005 dans l'océan à 1,5 mètre ou 10 mètres de profondeur, au large de Hao, Rangiroa (Tuamotu) et Tahiti (Société) et de 2006 à 2022 dans le lagon de Tahiti à 1,5 mètre de profondeur. La fréquence des prélèvements initialement programmée annuellement a été accrue (bimestrielle) entre 2011 et 2017 suite à l'accident de Fukushima, puis réduite à une fréquence biannuelle de 2018 à 2020 et de nouveau annuelle à partir de 2021. En marge de ce suivi, deux prélèvements ont été effectués dans le cadre de la participation à la mission Turbo en océan au large de Moruroa (Tuamotu) en 2014 et en 2015.

La diminution de la concentration du ¹³⁷Cs observée jusqu'à la fin des années 2010, avec une période apparente de 19 ans, correspond essentiellement à la décroissance radioactive ($T_{1/2} = 30,1$ ans) et à la dispersion de ce radionucléide dans la masse océanique. Ces dernières années, la stabilisation apparente des teneurs en ¹³⁷Cs indique probablement que la dispersion est devenue très faible et que subsiste uniquement la lente diminution radioactive. La similitude des teneurs en ¹³⁷Cs mesurées dans les eaux océaniques au large de Moruroa et dans les eaux lagunaires de Tahiti dans les années 2014-2015 indique que la dilution de ce radionucléide dans l'océan a d'ores et déjà permis d'aboutir à une certaine homogénéité que l'on se situe ou non à proximité d'un site où se sont déroulés des essais nucléaires atmosphériques. Les concentrations du ¹³⁷Cs mesurées dans l'eau de mer à l'échelle du Pacifique sud il y a deux décennies révélaient déjà une relative homogénéité (Yamada et Wang, 2007 ; Hirose *et al.*, 2007).

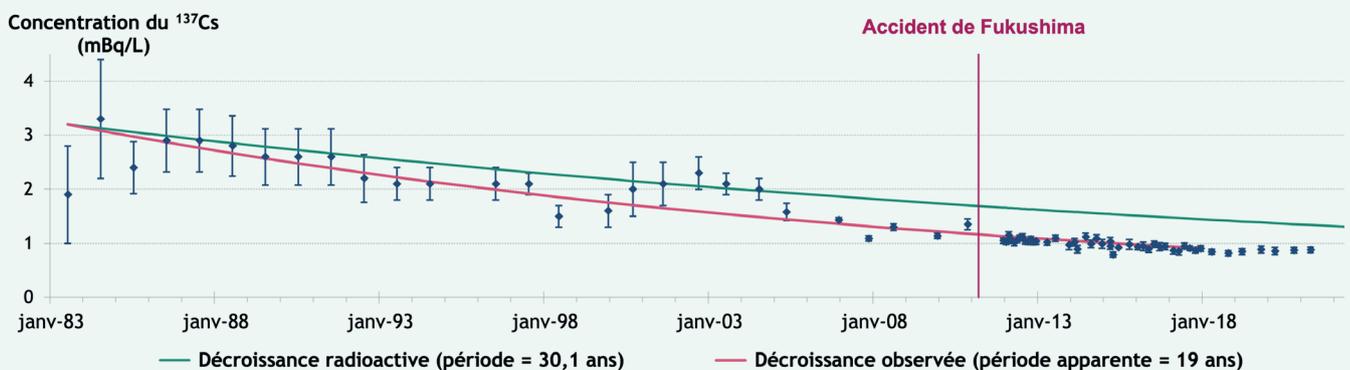


Figure 6

Concentration du ¹³⁷Cs en mBq/L dans l'eau de mer océanique ou lagunaire de la ZEE de la Polynésie française de 1983 à 2022.

Les eaux douces

Comme cela a toujours été le cas depuis 1998, date à laquelle ces types de prélèvements ont commencé à être réalisés, les activités de ¹³⁷Cs dans les échantillons d'eau de pluie prélevés à Vairao (presqu'île de Tahiti) en 2021 et 2022 étaient trop faibles pour être quantifiées par la mesure ; elles étaient inférieures au Seuil de Décision noté SD par la suite⁽⁴⁾.

(3) La mesure à bas niveau du césium dans l'eau de mer nécessite le passage sur une cartouche filtrante de ferrocyanure de cuivre d'un grand volume d'eau.

(4) Le seuil de décision (SD) est la valeur minimale que doit avoir le résultat de la mesure d'un échantillon pour décider qu'un radionucléide est présent ou non et que son activité est quantifiable.

Radioactivité dans les sols

Origines des radionucléides artificiels dans les sols

Les 504 essais nucléaires atmosphériques effectués par les États-Unis, l'Union soviétique, le Royaume-Uni, la France et la Chine dans les deux hémisphères entre 1945 et 1980 (Figure 7) sont à l'origine de la présence encore décelable dans les sols des produits de fission comme le ¹³⁷Cs ainsi que de plusieurs isotopes du plutonium. Dans le cas de l'isotope 238 du plutonium, la majeure partie des retombées au sol dans l'hémisphère sud provient de la combustion en 1964 du réacteur du satellite américain SNAP-9A lors de sa rentrée dans l'atmosphère à 50 km d'altitude au-dessus de l'océan Indien (Hardy E-P., 1973)⁽⁵⁾ alors que les isotopes 239, 240 et 241 proviennent uniquement des essais d'armes nucléaires atmosphériques.

La répartition des particules radioactives entre l'atmosphère des deux hémisphères est dépendante des caractéristiques de chaque essai (puissance, hauteur, latitude). On distingue trois types de retombées :

- locales/régionales, durant quelques heures à quelques jours après le tir, dues au dépôt des particules les plus grosses, sur une distance pouvant atteindre quelques centaines de kilomètres en fonction des conditions météorologiques à basse altitude ;
- troposphériques, durant quelques semaines après le tir, réparties dans des bandes de latitudes de plusieurs degrés centrées sur celles des sites de tirs ;
- stratosphériques, durant quelques mois à quelques années après le tir, sur l'ensemble du globe.

Ainsi, les retombées locales/régionales et troposphériques concernent l'hémisphère dans lequel l'essai a eu lieu, hormis pour le cas particulier du site d'essai de l'atoll de Christmas (Kiribati) situé à proximité de l'équateur à 2° de latitude nord, pour lequel les retombées stratosphériques concernent les deux hémisphères avec une répartition à 75 % dans l'hémisphère nord et à 25 % dans l'hémisphère sud (Benett, 1978).

La Figure 8-A synthétise la proportion et l'énergie, en mégatonne (Mt) d'énergie de fission, par site d'essais des injections (équivalentes aux retombées) troposphériques dans l'hémisphère sud.

La répartition par puissance nucléaire des retombées stratosphériques dans l'hémisphère sud, exprimées en Mt, est indiquée sur la Figure 8-B. Ainsi, on peut estimer qu'environ 10 % des produits de fission, dont les périodes sont supérieures à quelques années comme le ¹³⁷Cs, déposés sur les sols de l'hémisphère sud sont consécutifs aux essais effectués par la France à Moruroa et à Fangataufa et 90 % provient de l'ensemble des autres essais effectués dans les deux hémisphères.

(5) Le ²³⁸Pu s'est réparti inégalement entre les deux hémisphères, 20 % dans l'hémisphère nord et 80 %, soit 480 TBq (1TBq = 1 012 Bq = 1 000 milliards de becquerels), dans l'hémisphère sud.

Figure 7

Nombre d'essais nucléaires atmosphériques effectués par les grandes puissances entre 1945 et 1980.

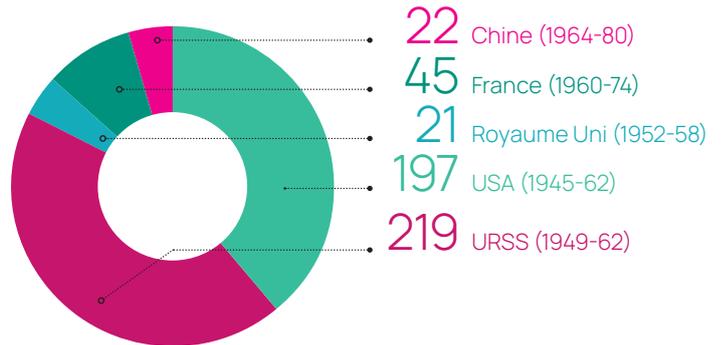
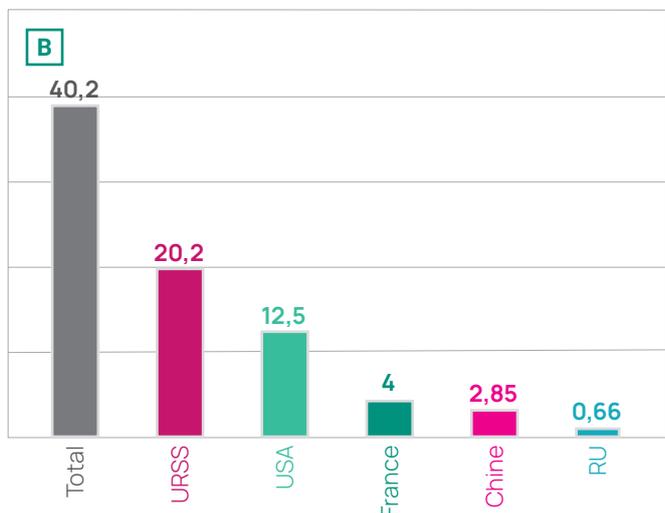
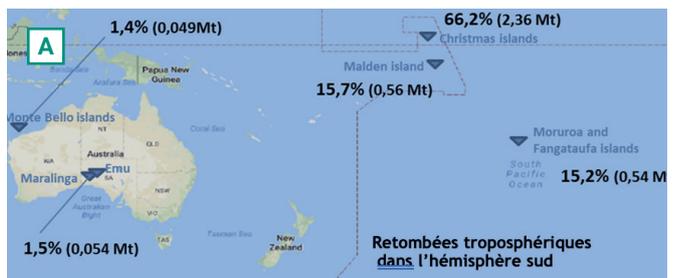


Figure 8

(A) Proportion et énergie (Mt) par site d'essais des injections troposphériques dans l'hémisphère sud.
(B) Répartition par puissance nucléaire des retombées stratosphériques, exprimées en Mt d'énergie de fission, dans l'hémisphère sud.



L'activité du ^{137}Cs déposé dans l'hémisphère sud a été évaluée par l'UNSCEAR (UNSCEAR, 2000) à 213 PBq (1 PBq = 10^{15} Bq) et à 706 PBq pour l'hémisphère nord, avec un dépôt annuel maximum pour l'année 1964 (Figure 9) suite aux importantes campagnes d'essais soviétiques et américains de 1962 préalables à leur moratoire conjoint en 1963 pour la suspension des essais atmosphériques. Le ^{137}Cs dans les sols est principalement d'origine stratosphérique.

Pour les produits de fission de plus courtes périodes, comme l'iode 131 (^{131}I , $T_{1/2} = 8$ jours), la majorité des retombées est d'origine troposphérique et a eu lieu suite aux essais effectués à Christmas, en 1957-1958 par les anglais et en 1962 par les américains (Figure 8). Avant 1966, la quantité cumulée des retombées en ^{131}I dans l'hémisphère sud est de 1077 PBq. Entre 1966 et 1980, cette même quantité cumulée est de 223 PBq et provient majoritairement des essais français, l'apport des essais chinois dans l'hémisphère sud étant faible car d'origine stratosphérique uniquement.

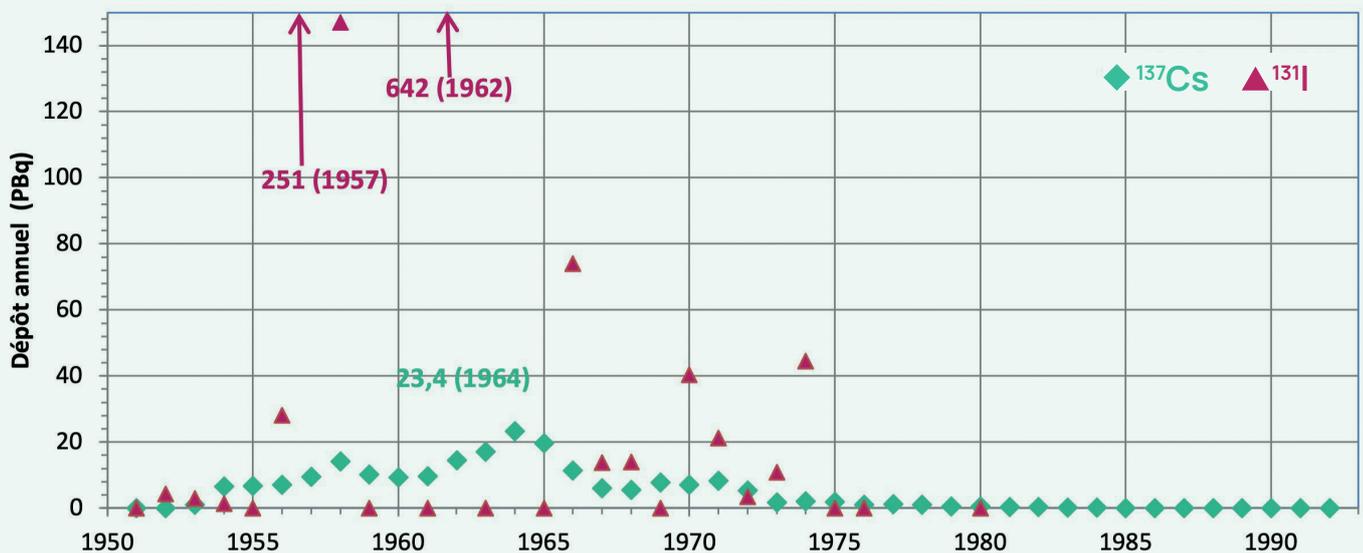


Figure 9

Dépôt annuel en PBq du ^{137}Cs et de ^{131}I dans l'hémisphère sud (UNSCEAR, 2000).

▲ ^{131}I
◆ ^{137}Cs

La répartition des dépôts n'est pas homogène sur l'ensemble de l'hémisphère, elle dépend de la latitude, et pour les retombées locales/régionales et troposphériques de la distance du site d'essai, ainsi que des conditions météorologiques entre le moment de l'essai et le moment du dépôt. En particulier, la pluviométrie joue un rôle prépondérant sur l'intensité du dépôt et des fortes

hétérogénéités peuvent être observées à l'échelle locale comme ce fut par exemple le cas lors des retombées directes de l'essai Centaure à Tahiti en 1974 où la pluviométrie plus intense sur la côte est fut à l'origine d'un dépôt plus élevé que sur d'autres parties de l'île (Ministère de la Défense, 2006).

Rémanence de la radioactivité artificielle dans les sols de la Polynésie française

Aujourd'hui, le sol contient encore une fraction des retombées radioactives des essais nucléaires atmosphériques. Les radionucléides présents dans les sols sont à l'origine de l'exposition externe et de la contamination des denrées d'origine terrestre par voie racinaire. Les données sur les teneurs en radionucléides artificiels à vie longue dans les sols de Polynésie française étant rares et anciennes, l'IRSN a décidé en 2014 de lancer une étude programmée sur plusieurs années afin de collecter et d'analyser des échantillons de sols dans différentes îles. Les analyses portent sur le ^{137}Cs , les isotopes 238, 239 et 240 du plutonium ainsi que l'américium 241 (^{241}Am)⁽⁶⁾.

Les îles concernées par cette étude sont situées dans les archipels des Australes (Raivavae) (IRSN, 2016), des Marquises (Hiva Oa et Nuku Hiva) (IRSN, 2018), des Gambier (Mangareva, Akamaru, Aukena et Taravai) (IRSN, 2020a) et de la Société (Raiatea (IRSN, 2020a), Huahine et Maupiti (IRSN, 2021a)), à des distances comprises entre 425 km et 1 450 km des sites d'essais français de Moruroa et de Fangataufa et entre 1450 et 3000 km du site d'essai anglais aux Malden (Figure 10). Les derniers échantillonnages de sols ont été effectués sur trois sites à Maupiti en 2019. Les résultats non encore publiés dans les précédents rapports concernent les concentrations des isotopes du plutonium et de l' ^{241}Am ainsi que les rapports entre les nombres d'atomes des isotopes 239 et 240 du plutonium ($^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$) at/at) pour deux des trois sites de Maupiti (Tableau AI-6) (IRSN, 2023), les résultats du troisième site n'étant pas disponibles à la date du présent rapport. Afin de pouvoir comparer directement les résultats pour des échantillonnages de dates différentes dans les autres îles, les activités sont ramenées à la date de mai 2018, corrigeant ainsi la décroissance du ^{137}Cs et du ^{238}Pu ⁽⁷⁾.

Pour chaque île, les sites de prélèvement ont été choisis afin de disposer d'un échantillonnage jugé a priori aussi représentatif que possible de la teneur des radionucléides artificiels recherchés. Les critères retenus pour sélectionner les sites de prélèvement de sols sont des zones accessibles mais distantes des routes et des habitations, et a priori exemptes de tout remaniement d'origine anthropique et naturelle depuis plus de 60 ans. Sur chaque site de prélèvement, trois carottages, de 8 cm de diamètre sur une profondeur de 30 à 45 cm, espacés de quelques mètres, ont été effectués.

En laboratoire, les carottes ont été découpées en section de 2 cm d'épaisseur entre 0 et 10 cm de profondeur et en section de 5 cm d'épaisseur jusqu'à la profondeur maximale extraite (Figure 11). Les sections identiques des trois carottes ont été regroupées pour ne former qu'un échantillon composite par section. Les échantillons ont été séchés à 60 °C en étuve et concassés avec un broyeur à bille, après avoir ôté racines et cailloux grossiers, afin d'obtenir un échantillon homogène dont les particules étaient inférieures à 0,2 mm.

Le ^{137}Cs et les radionucléides d'origine naturelle émetteurs gamma (^{40}K , ^7Be , ^{234}Th , ^{214}Pb , ^{210}Pb ...) ont été mesurés sur les échantillons secs. Une fraction des échantillons a été calcinée à 550 °C pour établir les taux de matière organique et mesurer, après une radiochimie séparative, les isotopes du plutonium et le ^{241}Am .

(6) ^{241}Am ($T_{1/2} = 432,5$ ans) n'est pas formé lors des explosions nucléaires, c'est un produit de filiation par désintégration bêta de ^{241}Pu ($T_{1/2} = 14,4$ ans) isotope du plutonium le plus dispersé dans l'environnement lors des essais nucléaires atmosphériques.

(7) La correction de décroissance pour chaque année écoulée consiste à enlever 2,3 % de l'activité pour le ^{137}Cs et 0,08 % pour le ^{238}Pu . Ainsi la comparaison des résultats pour des échantillons prélevés en 2015 par rapport à ceux de 2018 nécessite une réduction de 6,9 % pour l'activité du ^{137}Cs et de 0,24 % pour celle du ^{238}Pu . Compte tenu de leurs périodes longues, aucune correction n'est à apporter aux activités des isotopes 239 et 240 du plutonium.

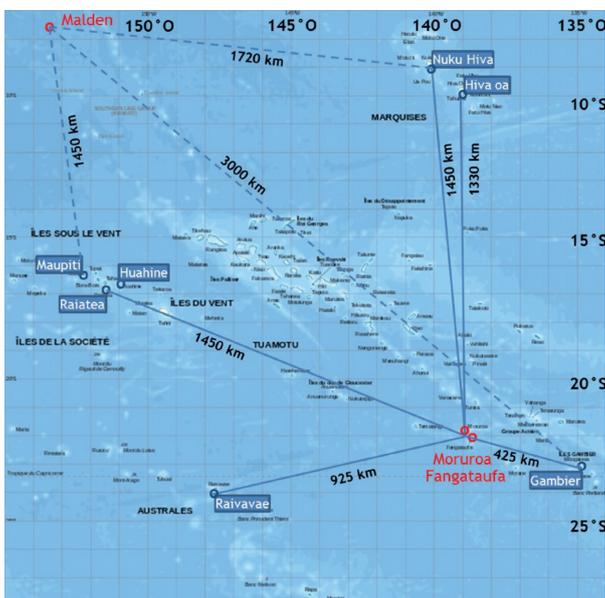


Figure 10

Position des îles dont les sols ont été échantillonnés entre 2015 et 2019 par rapport aux sites d'essais français à Moruroa et à Fangataufa et au site d'essais anglais aux Malden.

RADIOACTIVITÉ DANS LES SOLS DE L'ÎLE DE MAUPITI (ARCHIPEL DE LA SOCIÉTÉ)



Figure 12

Localisation des sites de prélèvement des sols de Maupiti (16°S) en avril 2019.

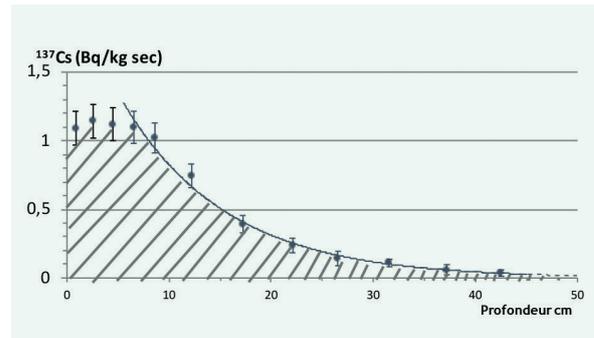


Figure 13

Concentration moyenne, en Bq/kg sec, du ^{137}Cs en fonction de la profondeur pour les sols des trois sites de Maupiti.

- Les mesures de ^{137}Cs ont été réalisées dans les sols des trois sites échantillonnés (Figure 12). La concentration moyenne du ^{137}Cs en fonction de la profondeur croît dans les premiers centimètres pour décroître ensuite suivant un profil exponentiel (Figure 13). L'aire hachurée représente l'activité totale (l'inventaire) pour la colonne de sol, soit $199 \pm 19 \text{ Bq/m}^2$.
- ^{241}Am et plutonium ont été mesurés pour deux des trois sites. Les mesures pour le troisième site sont en cours. Les concentrations de $^{239+240}\text{Pu}$ sont à peu près dix fois

plus faibles que celles de ^{137}Cs . Celles de ^{241}Am et de ^{238}Pu sont encore plus faibles. Les profils en fonction de la profondeur sont tous similaires (Figure 14).

- Comme dans les sols des autres îles, plus de la moitié de la radioactivité artificielle contenue dans les sols de Maupiti est à moins de 10 centimètres de profondeur.

Figure 14

Concentrations, en Bq/kg sec, des isotopes du plutonium et de ^{241}Am en fonction de la profondeur pour deux sols des trois sites de Maupiti.

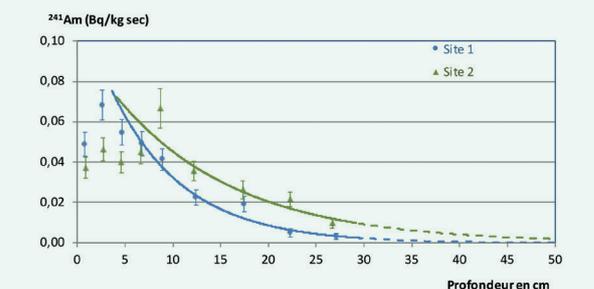
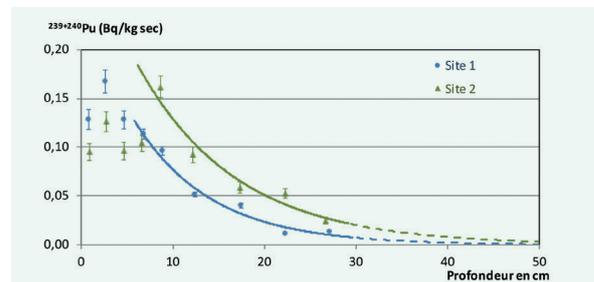
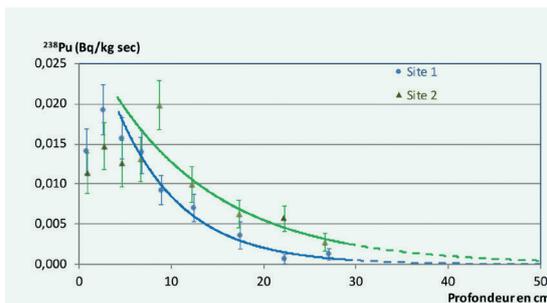




Figure 11 - Prélèvement de sol et découpe en laboratoire d'une carotte par section.



Commentaires des principaux résultats d'analyse des sols

On observe pour les îles hautes étudiées (Maupiti, Huahine, Raiatea, Hiva Oa, Nuku Hiva, Raivavae et Gambier) que :

- la concentration des radionucléides mesurés diminue lorsque la profondeur augmente pour les sols de tous les sites, dès la surface ou plus souvent au-delà de quelques centimètres,
- plus de la moitié des activités des radionucléides artificiels est encore située dans les 10 premiers centimètres de profondeur ; l'activité résiduelle au-delà des profondeurs mesurées n'excède pas quelques %,
- déposé au sol en grande partie avant 1965, les radionucléides mesurés migrent en profondeur avec une vitesse de l'ordre de 2 à 3 mm/an pour l'ensemble des sites, dans la gamme des valeurs rapportées pour les sols des régions tempérées de l'hémisphère nord (Kirchner et al., 2009).
- les retombées locales, associées aux essais de Moruroa et de Fangataufa, sont importantes aux Gambier (40 % des retombées totales pour le ^{137}Cs et 90 % pour le plutonium), très faibles aux Marquises (Hiva Oa, Nuku Hiva) (Bouisset et al., 2021) et à des niveaux intermédiaires dans les îles des Australes (Raivavae) et de la Société (Maupiti, Huahine, Raiatea).

4.2

CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES DENRÉES ALIMENTAIRES

Quarante-et-un types de denrées alimentaires issues des milieux marin et terrestre ont été échantillonnés dans seize îles de Polynésie française en 2021 et 2022. La répartition de ces produits par catégorie est indiquée sur la Figure 15. A ces produits locaux et régionaux s'ajoutent dix échantillons de produits importés.

Au total, 298 prélèvements ont été effectués. Les analyses radiologiques réalisées portent sur la partie communément comestible des produits (pulpe pour les fruits et les légumes, chairs pour les viandes, les poissons et les bœufiers). Tous les échantillons ont été mesurés par spectrométrie gamma et le plutonium a été recherché par spectrométrie alpha dans cinquante-trois d'entre eux (poissons de lagon, bœufiers et chair de coco) pour lesquels des traces des isotopes de cet élément étaient encore décelées ces dernières années.



Préparation par lyophilisation des denrées alimentaires.

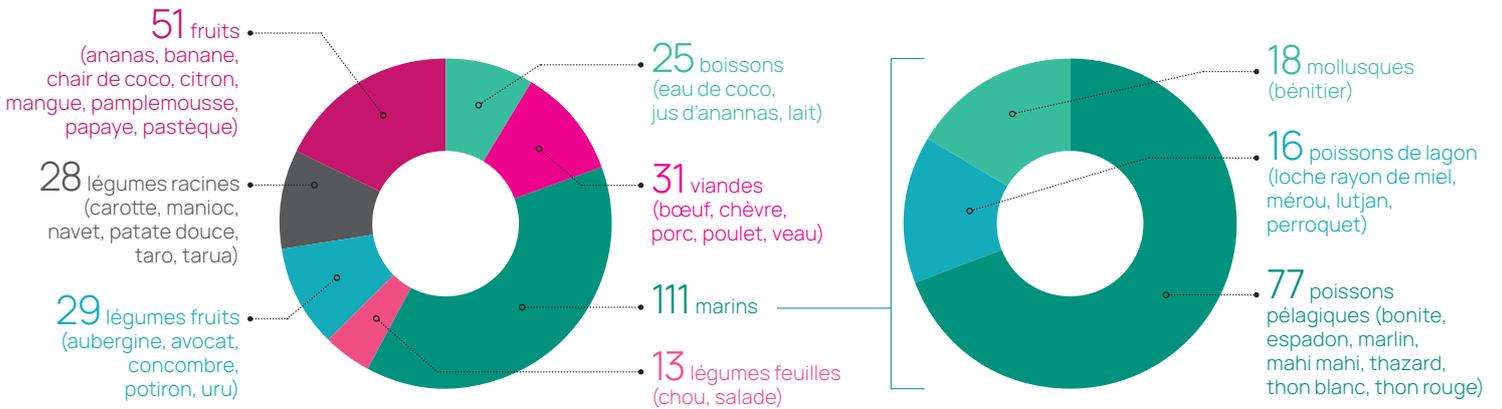


Figure 15

Répartition des prélèvements des denrées alimentaires locales et régionales en 2021-2022.

Milieu marin

Parmi les cent-onze prélèvements du milieu marin effectués, on distingue ceux du milieu océanique (poissons pélagiques) de ceux du milieu lagunaire (poissons de lagon et bénitiers).

Poissons pélagiques

Soixante-dix-sept prélèvements de poissons pélagiques de six espèces différentes ont été effectués au voisinage des cinq archipels (Figure 16). Les concentrations du ¹³⁷Cs mesurées dans

les échantillons frais (Tableaux AII-2 à AII-5, AII-7, AII-11, AII-15 et AII-16 (IRSN, 2023)) sont dans la continuité des résultats obtenus les années précédentes (Figure 17) et restent assez homogènes, entre 0,06 et 0,25 Bq/kg frais avec une valeur moyenne de 0,12 ± 0,04 (1 écart-type), le maximum étant mesuré dans un thazard provenant de Tubuai (Australes).

Concentration du ¹³⁷Cs (Bq/kg frais)

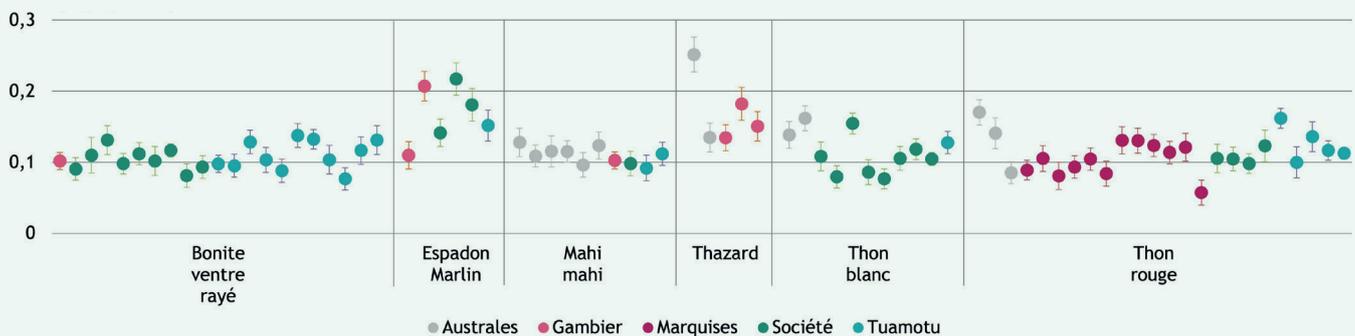


Figure 16

Concentration du ¹³⁷Cs en Bq/kg frais dans les échantillons de poissons pélagiques prélevés au voisinage des îles des cinq archipels de Polynésie française en 2021-2022.

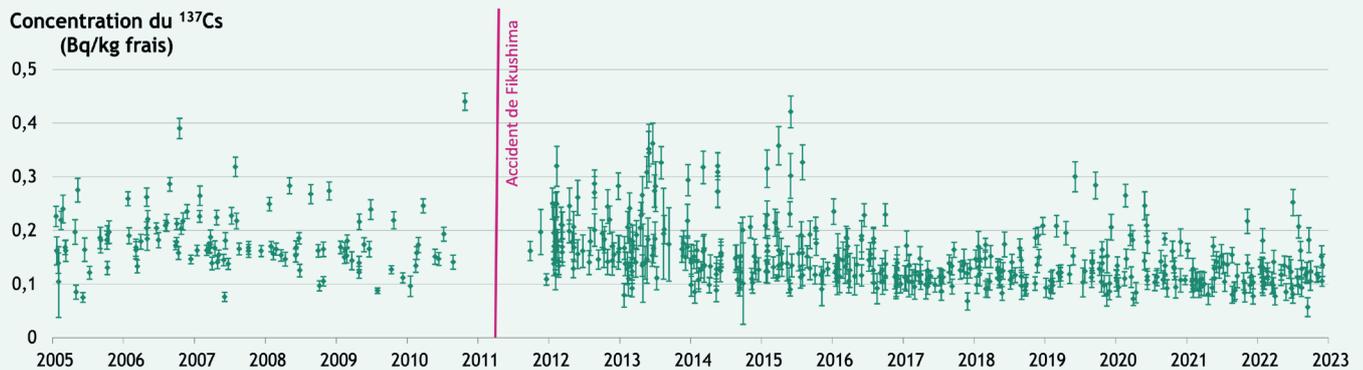


Figure 17

Concentration du ^{137}Cs en Bq/kg de poids frais dans les poissons pélagiques, toutes espèces confondues, prélevés au voisinage des côtes polynésiennes entre janvier 2005 et décembre 2022.

Poissons de lagon, bénéitiers

- Trente-quatre échantillons ont été prélevés : seize échantillons de poissons de lagon (mérus, loches, lutjans et perroquets) et dix-huit échantillons de bénéitiers. Les concentrations du ^{137}Cs , du $^{239+240}\text{Pu}$ et du ^{238}Pu sont très faibles, similaires à celles observées les années précédentes, quelle que soit la provenance (Tableaux AII-1 à AII-5 et AII-7 à AII-16 (IRSN, 2023)).
- Le ^{137}Cs , rarement décelé dans les bénéitiers analysés (4 fois sur 18 analyses avec des valeurs de l'ordre du SD inférieure à 0,03 Bq/kg frais), est encore quantifié dans les poissons de lagon analysés à des concentrations inférieures à 0,10 Bq/kg frais.
- Le $^{239+240}\text{Pu}$ a été décelé dans la chair de trois des seize échantillons de poissons de lagon analysés, à des valeurs de l'ordre du SD (inférieure à 0,06 mBq/kg frais). Le ^{238}Pu n'a été détecté dans aucun des poissons. Le $^{239+240}\text{Pu}$ a été quantifié dans les dix-huit échantillons de bénéitiers analysés, la valeur la plus élevée étant de 8,2 mBq/kg frais pour l'échantillon provenant de Hikueru ; les concentrations en ^{238}Pu , quantifiées dans seize échantillons, sont environ dix fois inférieures.

ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION EN ¹³⁷Cs DANS LES POISSONS DE LAGON

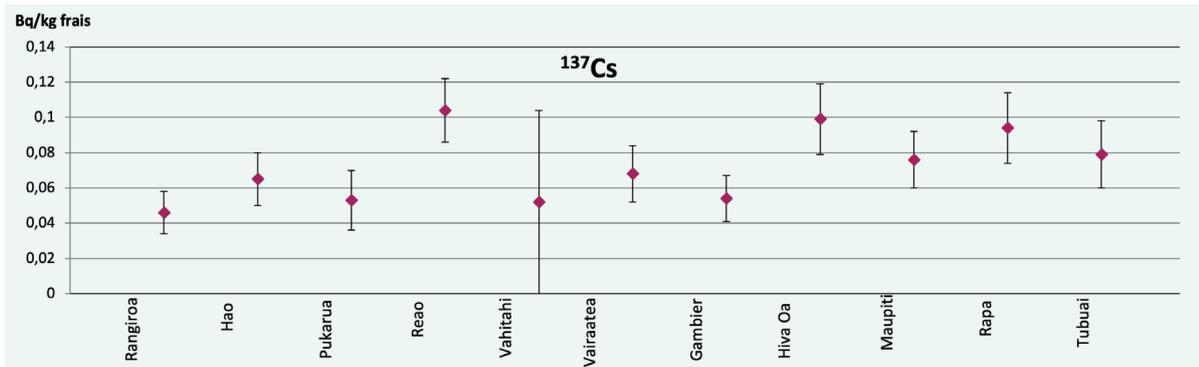
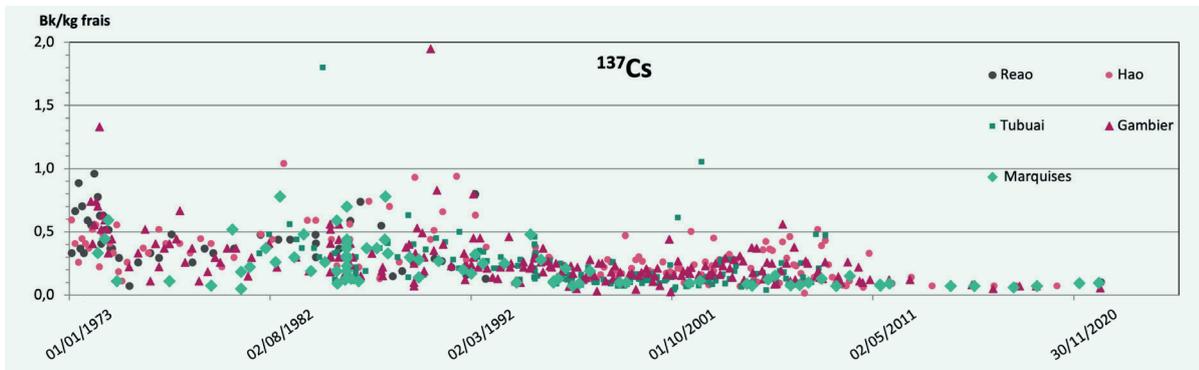
Consommée en grande quantité, la chair des poissons de lagon (poissons de récifs aux Marquises) a été mesurée régulièrement dans plusieurs îles de tous les archipels. Les concentrations du ¹³⁷Cs mesurées n'ont pas excédé 2 Bq/kg frais depuis 1973 et elles sont actuellement de l'ordre de 0,1 Bq/kg frais pour l'ensemble des îles échantillonnées (Figure 18).



Lutjan – Lutjanus bohar – Ha'amea

Figure 18

Concentration du ¹³⁷Cs en Bq/kg frais mesurée dans les poissons de lagon de différentes îles au cours du temps (au dessus) et en 2022 (en dessous). Pour la figure du haut, les résultats non significatifs ne sont pas indiqués.



ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION EN ^{60}Co ET EN $^{239+240}\text{Pu}$ DANS LA CHAIR DE BÉNITIER

Fortement consommée dans les atolls en particulier, la chair de bénitier a été régulièrement mesurée (sauf aux Marquises où le bénitier n'est pas présent et pour l'atoll de Reao entre 1993 et 2021 car l'échantillonnage n'a pas été réalisé). Alors que le ^{137}Cs est très peu décelable dans la chair de bénitier (contrairement aux poissons dont la masse musculaire importante permet une bonne assimilation du césium), le cobalt 60 (^{60}Co , $T_{1/2} = 5,3$ ans) a été décelé jusqu'en 2010 (Figure 19). Les valeurs les plus élevées ont été mesurées aux Gambier fin 1975. Difficilement décelable à des niveaux aussi bas que quelques mBq/kg frais (1000 fois moins que les teneurs



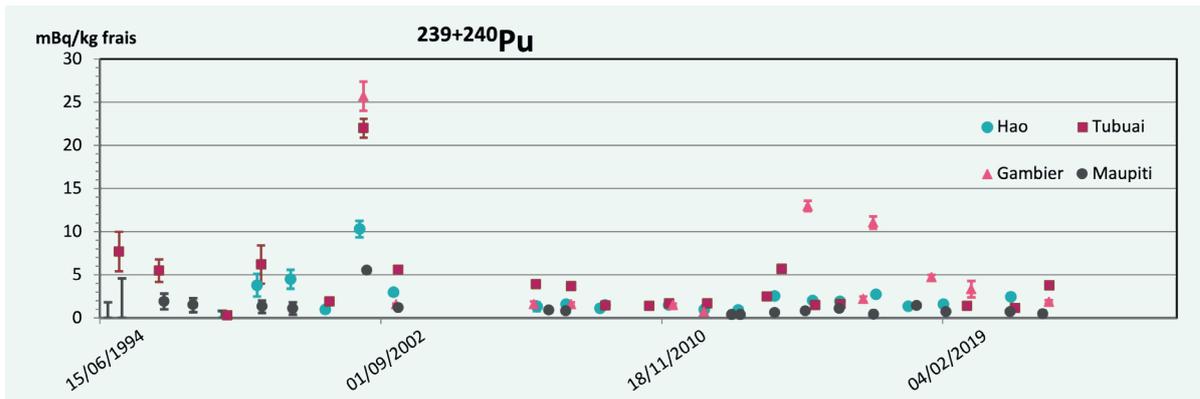
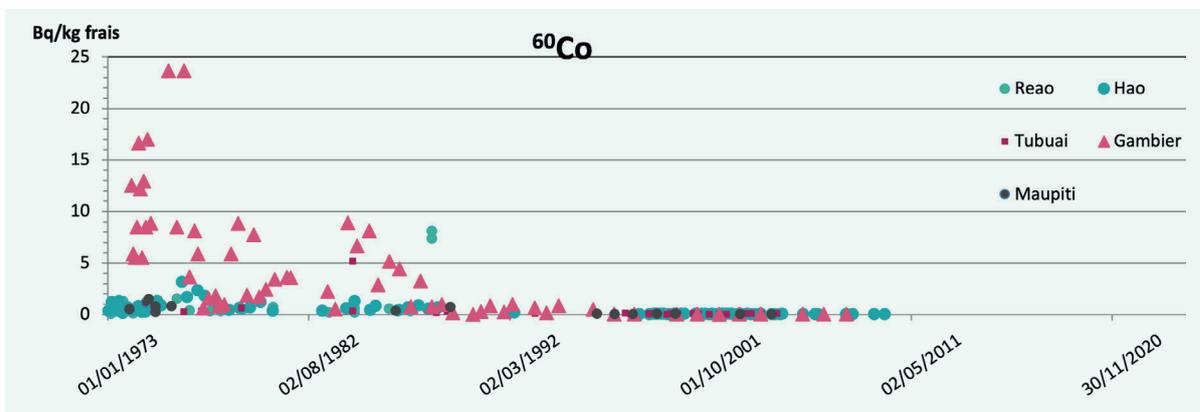
Bénitier – *Tridacna maxima* – Pahua

en ^{60}Co), le plutonium ($T_{1/2} (^{239}\text{Pu}) = 24\,100$ ans ; $T_{1/2} (^{240}\text{Pu}) = 6\,563$ ans) n'a été mesuré qu'à partir de 1995 lorsque les protocoles de mesures à très bas niveau du plutonium ont été développés. Cette faible concentration de plutonium dans la chair de bénitier reste relativement stable au cours du temps.

Durant ces périodes d'observation, les teneurs les plus élevées en $^{239+240}\text{Pu}$ ont été mesurées aux Gambier et celles en ^{60}Co aux Gambier et à Tubuai. A Maupiti, le $^{239+240}\text{Pu}$ et le ^{60}Co ont été rarement mesurés au-dessus du SD à des teneurs bien plus faibles que dans les autres îles. Ces résultats sont cohérents avec ceux des inventaires dans les sols.

Figure 19

Concentrations du ^{60}Co (Bq/kg frais) et du $^{239+240}\text{Pu}$ (mBq/kg frais) mesurées dans les bénitiers de différentes îles au cours du temps.



RADIOACTIVITE NATURELLE DANS LA CHAIR DE BENITIER



Le polonium 210 (²¹⁰Po) et le plomb 210 (²¹⁰Pb) sont des radionucléides respectivement émetteurs alpha et bêta, faisant partie de la chaîne de désintégration de l'uranium 238, présents naturellement dans l'environnement. Ces radionucléides sont souvent mesurés à des teneurs très variables qui peuvent atteindre près de 100 Bq/kg frais dans les produits marins consommés en métropole, et contribuent ainsi de manière importante à la dose efficace par ingestion (IRSN, 2021b). Des concentrations jusqu'à quatre fois plus élevées sont mesurées dans les bénitiers prélevés dans les différentes îles de Polynésie française (Figure 20).

et qu'elles sont plus élevées lorsque la taille T (proportionnelle à l'âge) de l'animal est plus grande (T1>T2>T3) (Figure 21). Un autre échantillonnage effectué en septembre 2022 sur le site S3 confirme cette observation. L'échantillon S3T1 de Hao a été séparé en deux parties ; le ²¹⁰Pb a été mesuré dans la chair totale de la première (9 individus) puis dans la seconde (23 individus) en différenciant les reins du reste des parties molles. Les concentrations mesurées sont égales dans les deux séries, 297 et 300 Bq/kg frais respectivement, en regroupant les résultats de la seconde série la mesure des reins avec ceux des parties molles (chair totale-reins). Les concentrations des deux fractions (reins et chair totale-reins) pondérées de leurs masses respectives indiquent que 85% du ²¹⁰Pb est contenu dans les reins (Tableau 2).

Des bénitiers de trois gammes de tailles différentes ont été prélevés sur trois sites (S1, S2 et S3) de l'atoll de Hao en février 2022 (Tableau AII-19 (IRSN, 2023)). Les mesures en ²¹⁰Pb, effectuées dans un premier temps, montrent que les concentrations sont un peu plus élevées sur le site S3

Figure 20

Concentrations du ²¹⁰Po et du ²¹⁰Pb (Bq/kg frais) mesurées dans la chair des bénitiers prélevés de 2019 à 2022.

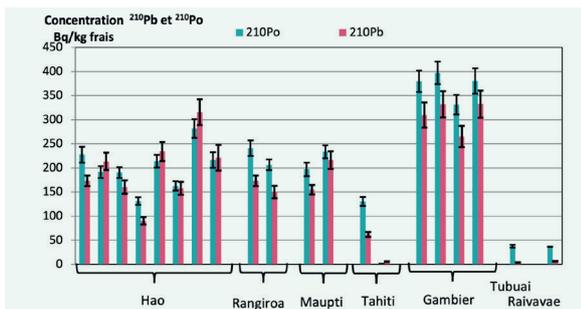


Figure 21

Concentration du ²¹⁰Pb (Bq/kg frais) dans la chair des bénitiers de tailles T1, T2 et T3 des sites S1, S2 et S3 de Hao en 2022.



Tableau 2

Concentration du ²¹⁰Pb (Bq/kg frais) dans la chair et dans les reins des bénitiers de taille T1 prélevés en septembre 2022 sur le site S3 de Hao.

S3T1	Masse fraîche (g)	Nombre d'individu	Masse moyenne / individu (g)	²¹⁰ Pb (Bq/kg frais)	Répartition en %
Chair totale	800	9	89	297 ± 25	-
Chair totale - reins	1 675	23	92	51,0 ± 4,6	15
Reins	232	23	10	2 030 ± 170	85
Chair totale	1 907	23	102	292 ± 37	100

Milieu terrestre

Les cent-quatre-vingt-sept échantillons analysés se répartissent en vingt-cinq échantillons de boissons (19 eaux de coco, 2 jus de fruit, 4 laits), soixante-dix de légumes (13 légumes-feuilles, 29 légumes-fruits et 28 légumes-racines), cinquante-et-un de fruits, trente-et-un de viandes ainsi qu'en dix prélèvements relatifs à des produits d'importation (4 laits, 4 viandes et 2 riz).

Lait de vache

- Le lait de vache a été mesuré par spectrométrie gamma avec des fréquences annuelles variables depuis 1966. Les prélèvements proviennent tous de Tahiti et ont été collectés systématiquement depuis 1994 à la ferme située au plateau de Taravao. Depuis 2012, deux échantillonnages de lait entier sont réalisés chaque année afin de poursuivre la chronique de la teneur en ^{137}Cs (Figure 22).
- Les teneurs en ^{137}Cs mesurées dans le lait prélevé à Tahiti en 2021-2022 sont comprises entre 0,07 et 0,09 Bq/L (Tableau All-16 (IRSN, 2023)); elles sont légèrement supérieures à celles des laits demi-écrémés importés de France métropolitaine et

de Nouvelle-Zélande qui sont de l'ordre de 0,02 Bq/L (Tableau All-18 (IRSN, 2023)). La décroissance observée au fil des années de cette teneur est plus rapide que celle qui serait uniquement due à la décroissance radioactive du ^{137}Cs (30,1 ans); elle peut être expliquée par plusieurs phénomènes :

- décroissance radioactive du ^{137}Cs contenu dans les sols et réduction progressive des retombées de particules radioactives comme le montre la courbe des dépôts cumulés reportée sur la Figure 24;
- lessivage d'une fraction de la radioactivité déposée par les pluies souvent très abondantes ;
- variations de teneurs en ^{137}Cs dans l'alimentation du bétail, variations dans le temps de la nature des graminées (setaria, paspalum, Kikuyu et autres espèces indéterminées), usage de compléments alimentaires de natures diverses (maïs cultivé, tourteau de coprah, drêche fraîche...) et un abreuvement provenant de différentes sources dont les teneurs en ^{137}Cs peuvent aussi être variables.

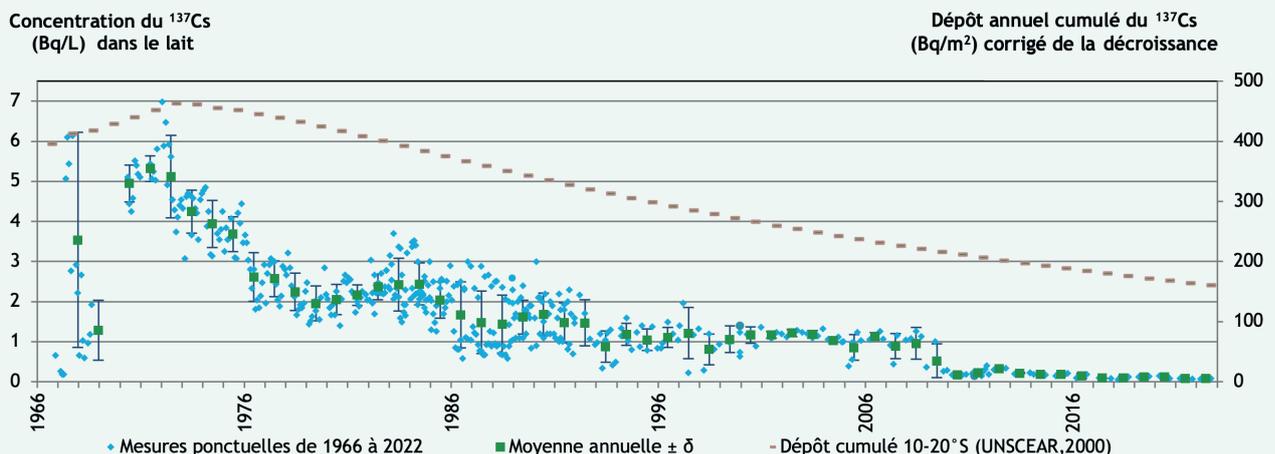


Figure 22

Evolution depuis 1966 de la concentration du ^{137}Cs (Bq/L) dans le lait produit à Tahiti et dépôt annuel cumulé du ^{137}Cs (Bq/m²), corrigé de la décroissance radioactive, sur les sols dans la bande de latitude 10-20°S (UNSCEAR, 2000).

Boissons, fruits, légumes, viandes et produits importés

Les résultats de spectrométrie gamma des cent-soixante-dix-neuf denrées (solides et liquides autres que le lait) et de spectrométrie alpha de dix-neuf échantillons de coprah sont présentés dans les tableaux AII-2 à AII-7, AII-9 à AII-18 (IRSN, 2023).

- Le ^{137}Cs est quantifié dans deux tiers des échantillons (116/179) dont 56 valeurs sont inférieures à 0,10 Bq/kg frais et 12 supérieures à 1 Bq/kg frais (Figure 23). Les teneurs les plus élevées proviennent des viandes, et notamment de la viande de bœuf de Tahiti (valeur maximale de 5,9 Bq/kg frais mesurée en 2021) sans évolution marquée à la baisse ou à la hausse durant les vingt dernières années (IRSN, 2021a). La variabilité observée est probablement, comme pour le lait de vache, liée aux aliments consommés par le bétail (pâtures constituées de différentes espèces d'herbes et compléments alimentaires variés au cours du temps). Les teneurs mesurées dans la viande de bœuf importée de Nouvelle-Zélande sont inférieures.
- Le $^{239+240}\text{Pu}$ a été décelé dans 14 échantillons de coprah sur 19 analysés sans excéder 0,31 mBq/kg frais et le ^{238}Pu dans 3 échantillons sans excéder 0,04 mBq/kg frais (échantillon de Reao).

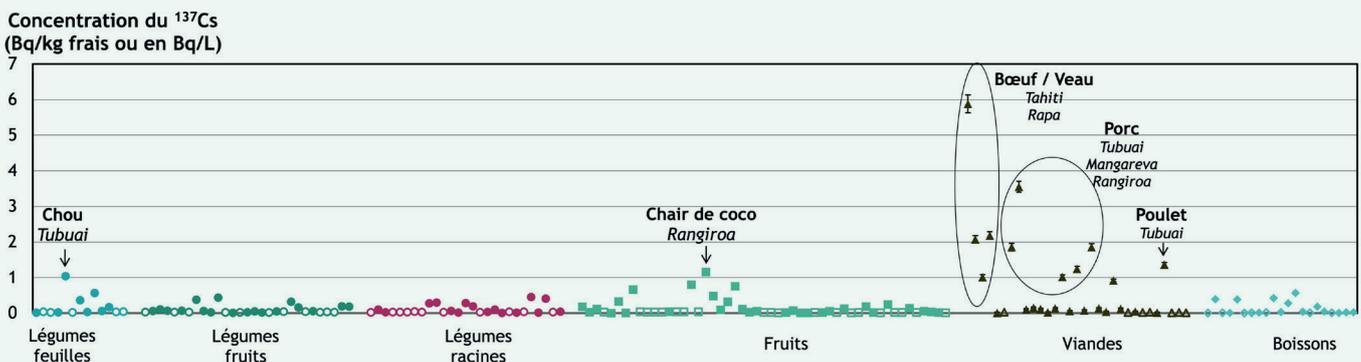


Figure 23

Concentration du ^{137}Cs (Bq/kg frais) mesurée dans les denrées du milieu terrestre et dans les boissons prélevées dans les cinq archipels en 2021-2022.

ÉVOLUTION DU ¹³⁷Cs DANS LA CHAIR ET L'EAU DE COCO

L'eau et la chair de la noix de coco sont consommées dans l'ensemble des îles de Polynésie, particulièrement dans les atolls des Tuamotu. Depuis 1973, la concentration du ¹³⁷Cs n'a jamais excédé 14 Bq/L dans l'eau de coco, 60 Bq/kg frais dans la chair de coco pour les échantillons analysés (Figure 24). Jusqu'au début des années 90, les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans les atolls, Reao et Tureia, les plus proches des sites d'expérimentations de Moruroa et Fangataufa.

Les mesures effectuées en 2022 dans sept atolls des Tuamotu montrent que les concentrations du ¹³⁷Cs sont inférieures à 1 Bq/L pour l'eau et à 1 Bq/kg frais pour la chair sauf pour celle de Rangiroa dont la teneur à $1,16 \pm 0,07$ Bq/kg frais reste toutefois très proche de ce niveau (Figure 25). Les activités mesurées dans la chair de coco et dans l'eau de coco prélevée les dix dernières années dans cette île varient tout en restant dans le même ordre de grandeur (0,3 à 3 Bq/kg frais dans la chair de coco et 0,05 à 0,5 Bq/L dans l'eau de coco) (Figure 26).

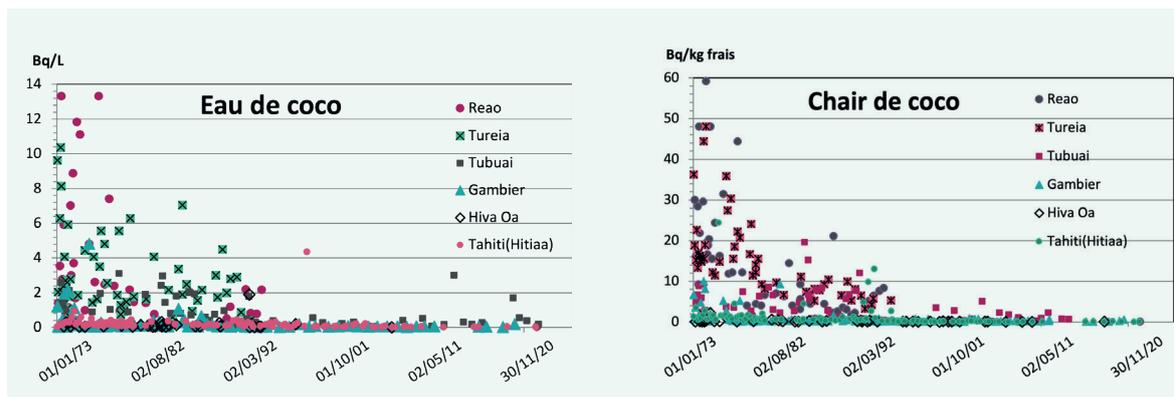


Figure 24

Evolution de la concentration du ¹³⁷Cs mesurée dans l'eau de coco (Bq/L) et dans la chair de coco (Bq/kg frais). Les résultats non significatifs (SD de l'ordre de 0,03 Bq/L pour l'eau et de 0,05 Bq/kg frais pour la chair) ne sont pas reportés. Les mesures à Reao ont été effectuées jusqu'en 1993 et une mesure a été effectuée en 2022. Pour Tahiti où quatre communes étaient différenciées jusqu'en 1992, ce sont les résultats d'Hitiaa qui sont représentés.

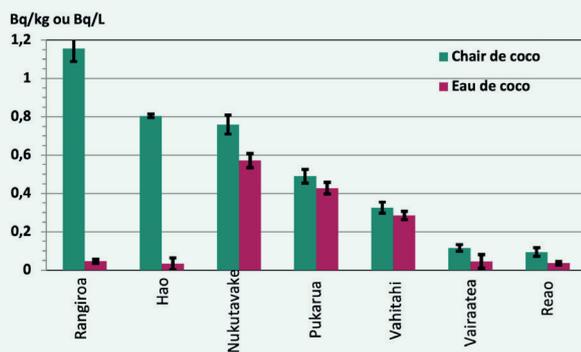


Figure 25

Concentration du ^{137}Cs dans la chair de coco (Bq/kg frais) et dans l'eau de coco (Bq/L) pour sept atolls de l'archipel des Tuamotu en 2022.

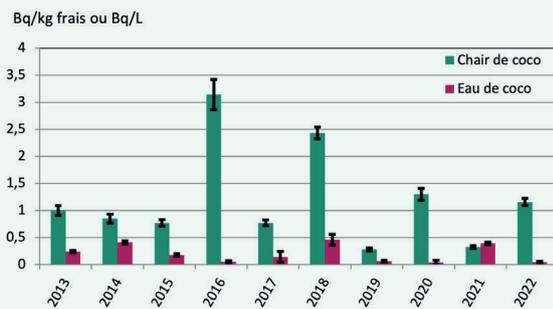


Figure 26

Concentration du ^{137}Cs dans la chair de coco (Bq/kg frais) et dans l'eau de coco (Bq/L) prélevés ces dix dernières années à Rangiroa.

5

EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

L'estimation de la dose efficace permet de quantifier et de comparer les différentes expositions à la radioactivité auxquelles peut être soumise une personne. La dose efficace s'exprime en sieverts (Sv). On utilise en pratique ses sous-multiples : le millisievert (1 mSv = 0,001 Sv) ou le microsievert (1 μ Sv = 0,000001 Sv).

Une personne peut être exposée de plusieurs manières à la radioactivité présente dans l'environnement. L'**exposition externe** résulte des rayonnements émis par sources présentes à l'extérieur du corps humain (par exemple, le rayonnement cosmique,

les rayonnements des radionucléides présents dans l'air ou déposés sur le sol). La dose reçue dépend de la durée d'exposition, du niveau d'activité environnementale et de la distance à la source. L'exposition interne résulte de l'incorporation d'un radionucléide, notamment par ingestion d'aliments contaminés ou par inhalation d'aérosols radioactifs. La dose résultant de l'**exposition interne** est reçue depuis l'incorporation jusqu'à l'épuration totale du radionucléide du corps humain ; la radioactivité corporelle décroît alors en fonction de la période radioactive et de la vitesse d'élimination biologique du radionucléide incorporé.

5.1

SOURCES D'EXPOSITION

On distingue les expositions aux sources de rayonnement d'origine naturelle de celles d'origine artificielle.

L'exposition de la population à la **radioactivité naturelle** est essentiellement liée :

- au rayonnement cosmique, qui contribue de façon conséquente à l'**exposition externe** ; de l'ordre de 0,3 mSv par an au niveau de la mer, il augmente avec l'altitude.
- à la présence de radionucléides naturels présents dans les sols ; le rayonnement, dit tellurique, qu'ils émettent est très variable en fonction de la nature des sols ;
- à l'ingestion de radionucléides naturels présents dans les aliments et dans l'eau, en particulier dans la chair de bœuf (voir encadré) ;
- à l'inhalation de radon, gaz rare radioactif naturel qui provient de la désintégration de l'uranium présent dans l'écorce terrestre et dans les matériaux de construction.

À cette exposition résultant de la radioactivité naturelle, il convient d'ajouter l'exposition liée à la **radioactivité d'origine artificielle**. Compte tenu de l'absence d'installation nucléaire industrielle, la radioactivité d'origine artificielle en Polynésie française est due :

- à la rémanence des retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires en Polynésie française (retombées locales/régionales) et dans le reste du monde (retombées mondiales) ;
- aux radionucléides présents dans l'alimentation et les boissons importées. Dans ce cas, il est possible de trouver, outre les radionucléides présents en Polynésie française, d'autres isotopes liés à des activités nucléaires extérieures au territoire (cela a par exemple été le cas du ^{134}Cs rejeté dans l'environnement au Japon lors de l'accident de Fukushima en 2011) ;
- aux examens médicaux : en France métropolitaine, une personne reçoit en moyenne 1,5 mSv chaque année, la moyenne mondiale s'établit aux alentours de 0,6 mSv/an.

Ces sources d'exposition d'origine naturelle et artificielle sont ensuite déclinées en voies d'exposition externe et interne pour calculer l'exposition annuelle à laquelle peut être soumis un individu. L'objectif du chapitre suivant est de fournir une estimation des doses efficaces annuelles reçues par les populations sur la base des résultats de mesures effectuées sur les denrées incluant les boissons et sur les filtres d'aérosols, ainsi que sur les sols pour ce qui concerne la contribution du ^{137}Cs à l'exposition externe. La contribution des rayonnements tellurique et cosmique est également prise en compte.

Les actes médicaux à visée diagnostique (radios, scanners, etc.) entraînent une exposition supplémentaire qui n'a pas pu être estimée spécifiquement pour la Polynésie française, l'IRSN ne disposant pas de données spécifiques pour ce territoire. L'exposition « médicale » moyenne annuelle de la population française est évaluée à 1,5 mSv en prenant en compte que certains actes d'imagerie (scanographies) peuvent conduire à des expositions très supérieures (jusqu'à plus de 100 mSv sur quelques années consécutives).

EVALUATION DES DOSES EFFICACES ANNUELLES EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

Dose efficace annuelle liée à l'exposition externe

L'exposition externe ambiante en Polynésie française est essentiellement d'origine naturelle (rayonnements cosmiques et telluriques). Une valeur moyenne de 700 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ a été établie à partir de 113 mesures réparties sur l'île de Tahiti en 2014. Il s'y ajoute une faible contribution d'origine artificielle provenant quasi exclusivement du ^{137}Cs issu des retombées aux sols des essais d'armes nucléaires atmosphériques. La dose efficace ajoutée d'origine artificielle, estimée à partir du dépôt de ^{137}Cs (seul radionucléide artificiel émetteur gamma encore décelable dans les sols), est inférieure à 1 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ pour l'île de Tahiti (Bouisset et al., 2007). La présence de plutonium, de ^{241}Am et de ^{90}Sr (8) dans les sols ne contribue pas à l'exposition externe car ce sont des émetteurs alpha et bêta, et en partie gamma de faible énergie (60 keV) dans le cas de ^{241}Am .

Dose efficace annuelle liée à l'inhalation

La dose efficace annuelle engagée par inhalation des radionucléides mesurés par spectrométrie gamma sur les filtres d'aérosols a été évaluée (Tableau 3) à partir de leurs concentrations moyennes annuelles (Chapitre 4.1). Ces évaluations ont été faites pour des adultes respirant 22 m^3 d'air par jour, avec les coefficients de dose réglementaires (J.O., 2003). Il est important de noter que plusieurs autres radionucléides présents dans l'air en Polynésie ne sont pas mesurables par spectrométrie gamma ; les doses liées à leur inhalation n'ont donc pas pu être estimées. Il s'agit notamment, pour les radionucléides artificiels, des isotopes du plutonium, de ^{241}Am et ^{90}Sr . Dans le cas du radon (d'origine naturelle), une campagne de mesure effectuée en 2020 dans les habitations de Tahiti et quelques mesures effectuées dans les habitations de Rapa en 2022 indique que sa teneur dans l'air est de l'ordre de 10 Bq/m^3 , plus faible que celle mesurée en métropole (90 Bq/m^3 en moyenne). L'exposition moyenne au radon en Polynésie française est de 0,17 mSv/an en retenant le coefficient de dose réglementaire à la date de rédaction de ce rapport. Cette exposition serait de 0,46 mSv/an (460 $\mu\text{Sv}/\text{an}$) si on adoptait le facteur de dose récemment préconisé par la Commission internationale de protection radiologique (ICRP, 2017).

Tableau 3

Dose efficace engagée (μSv) en 2021 et en 2022 par l'inhalation des radionucléides mesurés par spectrométrie gamma dans les aérosols de Tahiti.

	Radionucléide artificiel	Radionucléides naturels			Total
	^{137}Cs	^7Be	^{22}Na	^{210}Pb	
2021	2,4 10^{-6}	0,0013	2,4 10^{-6}	0,58	0,58
2022	2,5 10^{-6}	0,0011	2,0 10^{-6}	0,48	0,48

Dose efficace annuelle liée à l'ingestion

La dose efficace annuelle liée à l'ingestion avait été estimée, dans notre rapport précédent (IRSN, 2021a), à partir des résultats d'analyses d'une série de plateaux-repas, d'eaux et d'autres boissons (lait, eau de coco, jus d'ananas) prélevés à Tahiti. L'eau étant un produit ingéré en grande quantité, six prélèvements (quatre eaux commerciales et deux eaux distribuées par les communes) avaient été effectués et nous avons considéré une consommation égale pour chacune des eaux. Sur la base des quantités échantillonnées, les denrées solides ingérées annuellement par un individu adulte en 2019 et en 2020 représentaient respectivement 469 et 482 kg. Une quantité annuelle de 730 L avait été retenue pour l'eau de boisson à laquelle s'ajoutaient 142 L d'eau contenue dans la bière et les sodas locaux, 19 L de lait (14,6 L locaux et 4,38 L importés), 6,17 L de jus d'ananas et 0,8 L d'eau de coco.

(8) Le ^{90}Sr a été mesuré dans les sections 4-6 cm des sols des Marquises et des Australes à des teneurs environ 2 fois plus faibles que celles du ^{137}Cs .

L'évaluation de la dose efficace annuelle avait été effectuée dans le rapport précédent à partir des concentrations mesurées des différents radionucléides, exprimées en Bq/L pour les liquides et Bq/kg frais pour les solides, multipliées par les quantités annuelles ingérées, en L/an ou en kg/an, et par les coefficients de doses efficaces engagées par unité d'incorporation par ingestion, en $\mu\text{Sv}/\text{Bq}$ (J.O., 2003) pour les adultes.

Les doses annuelles liées à l'ingestion de radionucléides artificiels avaient été évaluées respectivement en 2019 et en 2020 à environ $1,2 \mu\text{Sv}$ et $1,4 \mu\text{Sv}$; elles sont dues principalement au ^{90}Sr (80-90%) dont le calcul de dose avait été effectué avec une valeur majorante en activité correspondant à limite de détection, soit deux fois la valeur du SD (seuil de décision), et au ^{137}Cs (10-20%) dont la concentration est mesurée bien au-delà du SD dans les denrées solides à l'origine de la quasi-totalité de son ingestion annuelle. La contribution à la dose du plutonium est très faible ($\leq 1\%$). Parmi les principaux contributeurs à la dose par ingestion de radionucléides naturels (^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ra , et ^{14}C), le calcul pour l'un d'entre eux (^{210}Pb) avait été effectué en prenant une valeur majorante égale à la limite de détection, soit deux fois la valeur du SD, car les mesures n'étaient pas significatives. Enfin, les

doses dues au ^{40}K ne dépendent pas des teneurs mesurées dans les denrées. En effet, le potassium est régulé par l'organisme (kaliémie) entraînant une teneur constante en ^{40}K de l'organisme humain ; cette teneur délivre une dose moyenne de $170 \mu\text{Sv}/\text{an}$. La dose efficace engagée par ingestion de radionucléides naturels avait ainsi été estimée en 2019 à $0,57 \text{ mSv}$ ($566 \mu\text{Sv}$) et en 2020 à $0,54 \text{ mSv}$ ($535 \mu\text{Sv}$) (Figure 27). Les résultats des mesures de radioactivités étant similaires en 2021 et 2022 à celles des deux années précédentes, la moyenne de ces deux valeurs, $0,55 \text{ mSv}$, est retenue pour ce rapport comme représentative du début des années 2020. Ces estimations ont été effectuées pour les résidents de Tahiti où la diversité des aliments est importante.

Pour une part de la population, vivant en particulier dans les atolls des Tuamotu, l'alimentation est beaucoup moins diversifiée et les denrées locales sont consommées en abondance (noix de coco, poisson, bénéitier, chien et tortue). Les concentrations en ^{210}Po et en ^{210}Pb sont plus élevées dans les produits marins et en particulier dans les bénéitiers. Une consommation annuelle de plusieurs kilogrammes de bénéitiers engendre une dose efficace supplémentaire de plusieurs mSv (voir encadré).

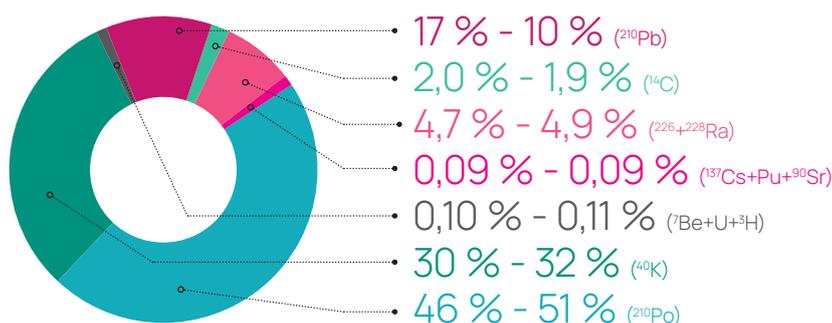


Figure 27

Répartition des différents radionucléides mesurés contribuant aux doses efficaces engagées en 2019 et 2020 relatives à l'ingestion (aliments solides et boissons) pour les adultes.

DOSE EFFICACE DUE À LA CONSOMMATION DE BÉNITIÉ

Cette dose efficace peut être élevée car elle est le produit de trois facteurs :

- des concentrations importantes du ^{210}Pb (Figure 28) et du ^{210}Po (dont les valeurs sont souvent un peu supérieures à celles du ^{210}Pb (voir encadré p.27)),
- des facteurs de dose par unité d'ingestion (DPUI) très élevés (Figure 29) (J.O., 2003), et
- une consommation annuelle importante.

La quantité annuelle de chair de bœuf ingérée a été établie dans les années 1980 (Grouzelle et al., 1985) en fonction des îles. Pour les adultes, ces quantités sont de 6 kg/an à Tahiti (population urbaine), 15 kg/an à Maupiti, Tubuai et aux Gambier, de 15 à 37 kg/an en fonction des atolls aux Tuamotu et 37 kg/an pour les populations rurales de Tahiti. Des ajustements de cette ration ont été effectués dans les années 90, réduisant à 2 kg/an la consommation à Tahiti et à Maupiti, à 4 kg/an aux Gambier et à 6,6 kg/an à Tubuai. Dans le cas des Tuamotu, les quantités sont restées identiques à celles de 1980. De nos jours, la consommation de bœuf est souvent associée aux festivités mais elle reste encore importante dans les îles où il est bien implanté dans le lagon comme à Tubuai ou dans les atolls des Tuamotu, et d'autant plus que ces atolls sont isolés.

A titre d'exemple, avec une consommation de 12 kg de chair de bœuf, les expositions annuelles des populations adultes dans les îles pour lesquelles nous disposons des résultats de mesures en ^{210}Po et en ^{210}Pb (prélèvements effectués de 2019 à 2022) sont reportées en Figure 30. Cette exposition est cinq fois plus faible lorsque les reins, qui concentrent environ 85% du ^{210}Po et du ^{210}Pb , ne sont pas consommés.

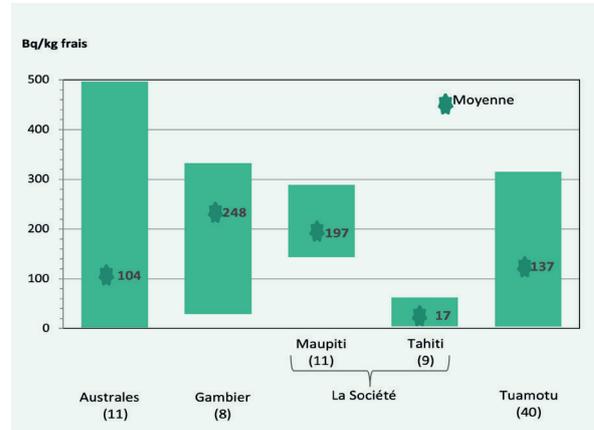
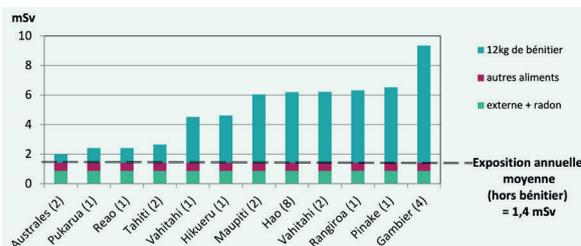


Figure 28

Gamme des concentrations et concentrations moyennes en ^{210}Pb (Bq/kg frais) mesurées en Polynésie entre 2012 et 2022. Entre parenthèses le nombre d'échantillons est indiqué pour chaque île ou archipel.

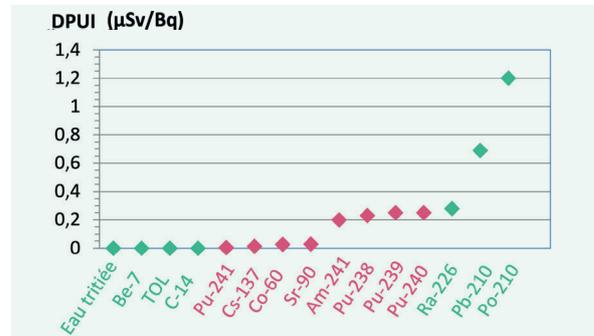


Figure 29

Doseparunité d'ingestion (DPUI) des principaux radionucléides naturels (en vert) et artificiels (en rose) (J.O., 2003) susceptibles d'être mesurés en Polynésie française.

Figure 30

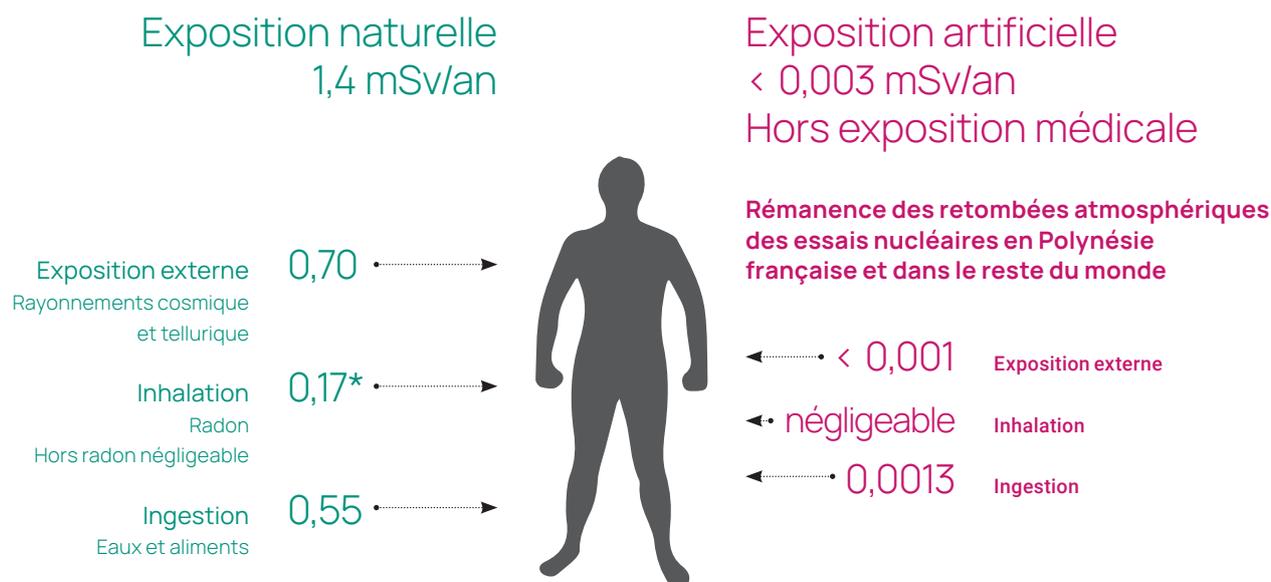
Dose efficace annuelle moyenne et dose supplémentaire due à 12 kg de chair de bœuf consommés. Entre parenthèses est indiqué pour chaque île le nombre d'échantillons de bœuf pour lesquels le ^{210}Po et le ^{210}Pb ont été mesurés.

Dose efficace annuelle totale

Hors expositions médicales, la dose efficace totale, somme des trois composantes, irradiation externe, inhalation et ingestion pour la population adulte vivant à Tahiti est proche de 1,4 mSv (Figure 31). Elle provient pratiquement de l'exposition externe, de l'ingestion des denrées et des boissons, et de l'inhalation du radon. Cette exposition est quasi-totalement (99,9%) attribuable au rayonnement cosmique et à la radioactivité naturelle; elle est plus faible que l'exposition moyenne annuelle de la population en métropole, 3 mSv hors exposition médicale en prenant en compte les coefficients de dose recommandés à la date de la publication de ce rapport (IRSN, 2021b). La dose efficace annuelle peut varier très significativement d'un individu à l'autre en fonction de la consommation plus ou moins importante de

certains aliments comme les bénitiers dont les concentrations en ^{210}Po et en ^{210}Pb peuvent augmenter les doses par ingestion annuelles de plusieurs mSv.

A titre de comparaison, l'exposition médicale (à visée diagnostique) moyenne de la population française est estimée à 1,5 mSv/an. En l'absence d'estimation spécifique à la Polynésie française, on retient pour ce bilan les évaluations faites pour la France entière. Néanmoins, cette exposition médicale peut varier fortement en fonction des actes d'imageries pratiqués et, par conséquent, une fraction de la population de Polynésie française a pu recevoir une exposition de plusieurs dizaines de mSv due à des examens de scanographie (IRSN, 2020b).



*0,46 en retenant le coefficient de dose de la publication 137 de la CIPR (ICRP, 2017) qui n'a pas encore été adopté par la réglementation française à la date de ce rapport.

Figure 31

Exposition moyenne aux rayonnements ionisants à Tahiti (hors exposition médicale et sans consommation de bénitiers).

ÉVOLUTION DE LA DOSE EFFICACE ANNUELLE AJOUTÉE PAR LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE À TAHITI

La dose engagée par l'ingestion pour les adultes résidant à Tahiti a été calculée entre 1982 et 1993 à partir de la mesure de l'activité dans les denrées collectées dans quatre communes de l'île et d'une ration alimentaire identique pour trois d'entre elle (Hitiaa, Paea et Teahupoo) tandis qu'une ration alimentaire spécifique a été utilisée pour la commune de Papeete. A partir de 1994, les résultats étant peu différenciables d'une commune à l'autre, le calcul de la dose efficace annuelle a été restreint à la commune de Papeete.

La ration alimentaire n'étant pas actualisée depuis plusieurs années, le calcul de la dose ingestion est effectué depuis 2016 à partir de la mesure de la radioactivité dans

des plateaux-repas collectés à Tahiti. La variabilité d'une année à l'autre ne correspond pas à une tendance temporelle mais au mode d'échantillonnage.

La dose efficace a diminué progressivement dans le temps dans les années 1980 et 1990, sauf en 1987 où les produits importés de métropole contaminés par les retombées de l'accident de Tchernobyl sont à l'origine du doublement de la dose par rapport aux autres années (Figure 32).

Depuis le début des années 2000, la dose efficace s'est stabilisée à moins de 2-3 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

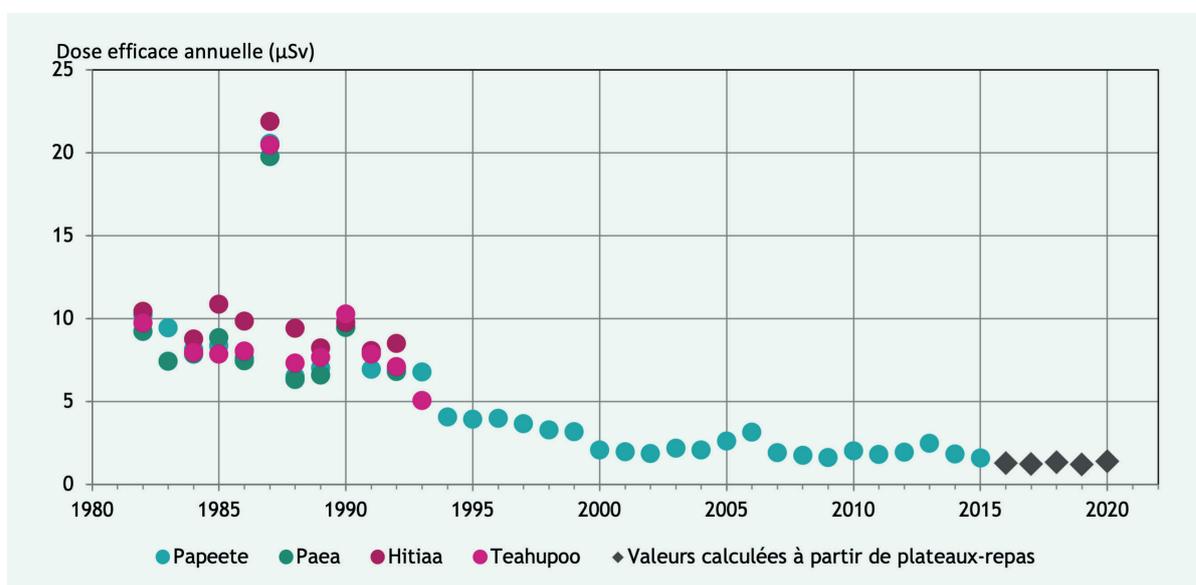


Figure 32

Evolution dans le temps de la dose efficace annuelle ajoutée par la radioactivité artificielle pour les adultes de Tahiti. Quatre communes étaient différenciées jusqu'en 1993. La contribution de la dose ingestion a été calculée entre 1982 et 2015 à partir de rations alimentaires et depuis 2016 à partir de plateaux-repas.



6

CONCLUSION

En 2021-2022, l'IRSN a poursuivi la surveillance radiologique des sept îles situées dans les cinq archipels de la Polynésie française qu'il suit régulièrement depuis 1998, en intégrant deux îles hautes (Moorea située dans l'archipel de la Société et Rapa située dans l'archipel des Australes) et cinq atolls (Pukarua, Reao, Vahitahi, Vairaatea, Nukutavake-Pinaki situés dans l'archipel des Tuamotu) ainsi que deux îles, Hikueru (Tuamotu) et Raivavae (Australes) où seuls des prélèvements de bénéficiers ont été réalisés.

Vingt-huit prélèvements ont été effectués dans les milieux (air et eaux) et deux cent quatre-vingt-dix-huit pour les denrées alimentaires (poissons de haute mer, poissons et autres produits de lagon, légumes, fruits, viandes, lait). Les mesures de radioactivité réalisées (spectrométrie gamma et spectrométrie alpha) couvrent la quasi-totalité de la gamme des radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être décelés dans l'environnement étudié.

Les analyses faites sur ces échantillons ont permis de répondre à deux objectifs :

- connaître les niveaux de radioactivité d'origine artificielle et leurs évolutions dans tous les milieux de l'environnement et dans les denrées alimentaires consommées ;
- estimer une exposition de la population.

Résultats des mesures de radioactivité artificielle en 2021-2022

Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés sont dans la continuité de ceux obtenus ces dernières années.

C'est le ^{137}Cs qui a été principalement décelé :

- Pour l'ensemble des produits analysés, les concentrations sont toujours extrêmement faibles, souvent inférieures à 0,10 Bq/kg frais.
- Douze résultats sont supérieurs à 1 Bq/kg frais pour les denrées du domaine terrestre : compris entre 1,0 et 5,9 Bq/kg frais pour les viandes de bœuf de Tahiti et Rapa, la viande de porc de Tubuai, de Rangiroa et de Mangareva, la viande de poulet et le chou de Tubuai et la chair de coco séché (coprah) de Rangiroa.
- Les valeurs maximales obtenues n'excèdent pas 0,25 Bq/kg frais pour les poissons (haute mer et lagon). Il est rarement décelé dans les bénéficiers, et lorsque c'est le cas, les valeurs sont proches des seuils de décision.
- Il n'a pas été décelé dans l'eau de pluie prélevée à Tahiti.
- Les concentrations dans l'eau de mer prélevée à Tahiti sont proches de 0,9 mBq/L.
- Il a été décelé à l'état de traces (0,07 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) dans les aérosols prélevés à Tahiti.

Aucun autre radionucléide d'origine artificielle émetteur gamma n'a été détecté dans les échantillons analysés.

Le plutonium a été recherché spécifiquement dans quelques denrées. Il a été détecté dans les dix-huit prélèvements de bénéficiers, avec une teneur maximale en $^{239+240}\text{Pu}$ à 8,2 mBq/kg frais pour un échantillon de Hikueru (Tuamotu), dans trois des seize prélèvements de poisson de lagon ainsi que dans quatorze des dix-neuf prélèvements de coprah.

Inventaires dans les sols

Les résultats des inventaires de la radioactivité et les rapports des concentrations des radionucléides mesurés dans les sols de Hiva Oa et de Maupiti, indiquent que les retombées globales sont à l'origine de la quasi-totalité des dépôts au sol.

Dans les sols des Gambier, l'excès des inventaires par rapport aux retombées globales et les rapports des concentrations des radionucléides mesurés montrent qu'il y a une contribution supplémentaire aux retombées globales. En particulier, le plutonium (239, 240 et 241) contenu dans ces sols provient en grande partie des retombées locales.

Les inventaires dans les sols de Raivavae sont dans la gamme des valeurs estimées pour les retombées globales. Cependant le rapport des concentrations des radionucléides mesurés indique qu'il y a aussi une contribution de retombées locales dans cette île.

Pour les îles de Huahine et de Raiatea, contrairement à Maupiti, situées dans l'archipel de la Société, les retombées locales contribuent aussi aux dépôts; cependant la contribution majeure reste d'origine stratosphérique (globale).

Exposition des populations

L'exposition de la population aux rayonnements ionisants est quasi-exclusivement d'origine naturelle. Le rayonnement cosmique et les radionucléides d'origine naturelle présents dans les sols et dans les denrées (principalement, ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra et ^{14}C) contribuent, hors exposition médicale, pour plus de 99 % à l'exposition de la population. Le principal radionucléide d'origine artificielle présent dans les sols et dans les denrées est le ^{137}Cs qui contribue très faiblement à l'exposition. Le plutonium et le ^{90}Sr ne contribuent pas du tout à l'exposition externe et très faiblement à l'exposition interne par ingestion d'aliments.

En 2021-2022, la dose efficace totale (exposition externe, exposition interne par ingestion et inhalation) est évaluée à 1,4 mSv/an en Polynésie française, deux fois plus faible qu'en métropole, hors exposition médicale. Des expositions plus élevées de quelques mSv peuvent apparaître avec la consommation de bœuf, pouvant s'élever à plusieurs kilogrammes par an pour certaines populations vivant principalement dans les atolls des Tuamotu. Cette exposition par ingestion est d'origine naturelle et peut être réduite en grande partie si les reins ne sont pas consommés.

7

RÉFÉRENCES

Bibliographie

- **Benett B-G., 1978.** *Environmental aspects of americium*. Report EML-348. p. 202.
- **Bouisset P., Leclerc G., et Rua J., 2007.** *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2006 - Résultats du réseau de surveillance de l'IRSN*. Rapport DEI/SESURE 2007-78. p. 99.
- **Bouisset P., Nohl M., Cossonnet C., Boulet B., Thomas S., Cariou N., Salaun G., 2021.** *Contribution of close-in fallout from French atmospheric tests in inventories of ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am and plutonium (238, 239, 240) in Gambier Islands (French Polynesia) - Signatures of stratospheric fallout in the Southern Hemisphere*. *J. Environ. Radioact.* 235-236, 106624. p. 13.
- **Grouzelle C., Dominique M., et Ducouso R., 1985.** *Résultats d'une enquête alimentaire effectuée à Tahiti de 1980 à 1982*. Rapport CEA R.5304. p. 180.
- **Hardy E-P., Krey P-W., Volchock H-L., 1973.** *Global inventory and Distribution of Fallout Plutonium*. *Nature* 241. pp. 444-445.
- **Hirose K., Aoyama M., Fukusawa M., Kim C-S., Komura K., Povinec P-P., Sanchez-Cabesa J-A., 2007.** *Plutonium and ¹³⁷Cs in surface water of the South Pacific Ocean*. *Total Environ.* 381. pp. 243-255.
- **ICRP, 2017.** *Occupational intakes of radionuclides - Part 3*. ICRP Publication 137.
- **INSEE, 2023.** *Les populations légales de Polynésie française en 2022 - Recensement de la population*. www.insee.fr.
- **IRSN, 2016.** *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2015 - Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN*. Rapport IRSN DG/2016-00549. p. 40.
- **IRSN, 2018.** *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2016 - Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN*. Rapport IRSN DG/2018-00004. p. 40.
- **IRSN, 2020a.** *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2017-2018 - Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN*. Rapport IRSN DG/2020-00107. p. 44.
- **IRSN, 2020b.** *Exposition de la population aux rayonnements ionisants due aux actes d'imagerie médicale diagnostique réalisés en France en 2017*. Rapport IRSN/2020-00554. p. 60.
- **IRSN, 2021a.** *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2019-2020 - Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN*. Rapport IRSN/2021-00849. p. 44.
- **IRSN, 2021b.** *Exposition de la population française aux rayonnements ionisants. Bilan 2014-2019*. Rapport IRSN/2021-00108. p. 83.
- **IRSN, 2023.** *Surveillance de la radioactivité en Polynésie française - Annexes au bilan 2021-2022*. Rapport IRSN/2023-00660. pp 26.
- **J.O, 2003.** *Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants*. *Journal officiel de la République française*. pp. 58003-58068.
- **Kirchner G., Strebl F., Bossew P., Ehken S., Gerzabek M-H., 2009.** *Vertical migration of radionuclides in undisturbed grassland soils*. *J. Environ. Radioact.* 100. pp. 716-720.
- **Ministère de la Défense, 2006.** *La dimension radiologique des essais nucléaires en Polynésie. A l'épreuve des faits*. ISBN 2-11-096780-3. p. 474.
- **UNSCEAR, 2000.** *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources. Annex C: Exposures to the public from man-made sources of radiation*. United Nations, New York. pp. 158-291.
- **Yamada M., Wang Z.L., 2007.** *¹³⁷Cs in the western South Pacific Ocean*. *Total Environ.* 382. pp. 342-350.

Table des illustrations et des tableaux

Illustrations

Figure 1. Localisation des seize îles de Polynésie française retenues dans le programme de surveillance radiologique 2021-2022. p11

Figure 2. Laboratoires de mesure gamma et de radiochimie. p12

Figure 3. Station haut débit pour le prélèvement sur filtre des aérosols. p13

Figure 4. Concentration en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ du ¹³⁷Cs dans les aérosols prélevés à Tahiti de janvier 1971 à décembre 2022. p14

Figure 5. Concentration en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ du ¹³⁷Cs dans les aérosols prélevés à Orsay (91) de janvier 1971 à décembre 2022. p15

Figure 6. Concentration du ¹³⁷Cs en mBq/L dans l'eau de mer océanique ou lagonaire de la ZEE de la Polynésie française de 1983 à 2022. p16

Figure 7. Nombre d'essais nucléaires atmosphériques effectués par les grandes puissances entre 1945 et 1980. p17

Figure 8. A) Proportion et énergie (Mt) par site d'essais des injections troposphériques dans l'hémisphère sud. B) Répartition par puissance nucléaire des retombées stratosphériques, exprimées en Mt d'énergie de fission, dans l'hémisphère sud. p17

Figure 9. Dépôt annuel en PBq du ¹³⁷Cs et de ¹³¹I dans l'hémisphère sud (UNSCEAR, 2000). p18

Figure 10. Position des îles dont les sols ont été échantillonnés entre 2015 et 2019 par rapport aux sites d'essais français à Moruroa et à Fangataufa et au site d'essais anglais aux Malden. p19

Figure 11. Prélèvement de sol et découpe en laboratoire d'une carotte par section. p21

Figure 12. Localisation des sites de prélèvement des sols de Maupiti (16°S) en avril 2019. p20

Figure 13. Concentration moyenne, en Bq/kg sec, du ¹³⁷Cs en fonction de la profondeur pour les sols des trois sites de Maupiti. p20

Figure 14. Concentrations, en Bq/kg sec, des isotopes du plutonium et de ²⁴¹Am en fonction de la profondeur pour deux sols des trois sites de Maupiti. p20

Figure 15. Répartition des prélèvements des denrées alimentaires locales et régionales en 2021-2022. p23

Figure 16. Concentration du ¹³⁷Cs en Bq/kg frais dans les échantillons de poissons pélagiques prélevés au voisinage des îles des cinq archipels de Polynésie française en 2021-2022. p23

Figure 17. Concentration du ¹³⁷Cs en Bq/kg de poids frais dans les poissons pélagiques, toutes espèces confondues, prélevés au voisinage des côtes polynésiennes entre janvier 2005 et décembre 2022. p24

Figure 18. Concentration du ¹³⁷Cs en Bq/kg frais dans les poissons de lagon de différentes îles au cours du temps (à gauche) et en 2022 (à droite). Pour la figure de gauche, les résultats non significatifs ne sont pas indiqués. p25

Figure 19. Concentrations du ⁶⁰Co (Bq/kg frais) et du ²³⁹⁺²⁴⁰Pu (mBq/Kg frais) mesurées dans les bénitiers de différentes îles au cours du temps. p26

Figure 20. Concentrations du ²¹⁰Po et du ²¹⁰Pb (Bq/kg frais) mesurées dans la chair des bénitiers prélevés de 2019 à 2022. p27

Figure 21. Concentration du ²¹⁰Pb (Bq/kg frais) dans la chair des bénitiers de tailles T1, T2 et T3 des sites S1, S2 et S3 de Hao en 2022. p27

Figure 22. Évolution depuis 1966 de la concentration du ¹³⁷Cs (Bq/L) dans le lait produit à Tahiti et dépôt annuel cumulé du ¹³⁷Cs (Bq/m²), corrigé de la décroissance radioactive, sur les sols dans la bande de latitude 10-20°S (UNSCEAR, 2000). p28

Figure 23. Concentration du ¹³⁷Cs (Bq/kg frais) mesurée dans les denrées du milieu terrestre et dans les boissons prélevées dans les cinq archipels en 2021-2022. p29

Figure 24. Évolution de la concentration du ¹³⁷Cs mesurée dans l'eau de coco (Bq/L) et dans la chair de coco (Bq/kg frais). Les résultats non significatifs (de l'ordre de 0,03 Bq/L pour l'eau et de 0,05 Bq/kg frais pour la chair) ne sont pas reportés. Les mesures à Reao ont été effectuées jusqu'en 1993 et une mesure a été effectuée en 2022. Pour Tahiti où quatre communes étaient différenciées jusqu'en 1992, ce sont les résultats d'Hitiaa qui sont représentés. p30

Figure 25. Concentration du ¹³⁷Cs dans la chair de coco (Bq/kg frais) et dans l'eau de coco (Bq/L) pour sept atolls de l'archipel des Tuamotu en 2022. p31

Figure 26. Concentration du ¹³⁷Cs dans la chair de coco (Bq/kg frais) et dans l'eau de coco (Bq/L) prélevés ces dix dernières années à Rangiroa. p31

Figure 27. Répartition des différents radionucléides mesurés contribuant aux doses efficaces engagées en 2019 et 2020 relatives à l'ingestion (aliments solides et boissons) pour les adultes. p35

Figure 28. Gamme des concentrations et concentrations moyennes en ²¹⁰Pb (Bq/kg frais) mesurées en Polynésie entre 2012 et 2022. Entre parenthèses le nombre d'échantillons est indiqué pour chaque île ou archipel. p36

Figure 29. Dose par unité d'ingestion (DPUI) des principaux radionucléides naturels (en bleu) et artificiels (en vert) (J.O, 2003) susceptibles d'être mesurés en Polynésie française. p36

Figure 30. Dose efficace annuelle moyenne et dose supplémentaire due à 12 kg de chair de bénitier consommés. Entre parenthèses est indiqué pour chaque île le nombre d'échantillons de bénitier pour lesquels le ²¹⁰Po et le ²¹⁰Pb ont été mesurés. p36

Figure 31. Exposition moyenne aux rayonnements ionisants à Tahiti (hors exposition médicale et sans consommation de bénitiers). p37

Figure 32. Évolution dans le temps de la dose efficace annuelle ajoutée par la radioactivité artificielle pour les adultes de Tahiti. Quatre communes étaient différenciées jusqu'en 1993. La contribution de la dose ingestion a été calculée entre 1982 et 2015 à partir de rations alimentaires et depuis 2016 à partir de plateaux-repas. p38

Tableaux

Tableau 1 – Comparaison des concentrations moyennes annuelles (µBq/m³) des ¹³⁷Cs, ⁷Be, ²²Na, ⁴⁰K et ²¹⁰Pb dans les aérosols prélevés sur filtres à Tahiti et à Orsay (Essonne) de 2020 à 2022. p13

Tableau 2 – Concentration du ²¹⁰Pb (Bq/kg frais) dans la chair et dans les reins des bénitiers de taille T1 prélevés en septembre 2022 sur le site S3 de Hao. p27

Tableau 3 – Dose efficace engagée (µSv) en 2019 et en 2020 par l'inhalation des radionucléides mesurés par spectrométrie gamma dans les aérosols de Tahiti. p34

Mots-clés

Polynésie française, environnement, bénitier, radioactivité, inventaire, césium-137, plutonium, dose efficace

.....
La réalisation de l'ensemble des prélèvements ne pourrait se faire sans la contribution de C. Ah Scha, A. Crescence, R. Tamarii, G. Taputu, J.-C. Teunu et N. Travers, correspondants liés du laboratoire, basés dans les différents archipels de Polynésie française.

IRSN

Pôle Santé et Environnement
Direction de l'Environnement

Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement (LESE), BP 182 - 98725 Vairao – Tahiti – Polynésie française
E-mail : contact@irsn.fr

N° du rapport : IRSN/2023-00686. Tous droits réservés IRSN Novembre 2023
Photo de couverture : Hao (archipel des Tuamotu) © IRSN/LESE
Autres photos : © IRSN/LESE

Conception graphique :  BATHYSCAPHE
www.agence-bathyscaphe.fr



31, avenue de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre B 440 546 018

COURRIER

B.P. 17
92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

TÉLÉPHONE

+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET

www.irsn.fr

E-MAIL

contact@irsn.fr

 [@IRSNFrance](https://twitter.com/IRSNFrance), [@radioprotection](https://twitter.com/radioprotection)