



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



BILAN DE LA SURVEILLANCE
DE LA RADIOACTIVITÉ
EN POLYNÉSIE FRANÇAISE
EN 2019-2020
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€**

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	4
2	DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE ET DU MODE DE VIE DE SES HABITANTS	6
3	LOCALISATIONS ET PRÉLÈVEMENTS	8
3.1.	TYPES DE PRÉLÈVEMENTS ET FRÉQUENCE	8
	Surveillance des milieux	8
	Surveillance des denrées alimentaires	8
3.2.	LIEUX DE PRÉLÈVEMENTS	9
4	NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION	10
4.1.	CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS DES MILIEUX	11
	Radioactivité de l'air	11
	Radioactivité de l'eau	13
	Radioactivité dans les sols	14
	Commentaires des principaux résultats d'analyse des sols	20
4.2.	CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES DENRÉES ALIMENTAIRES EN 2019-2020	24
	Milieu marin	24
	Milieu terrestre	26
5	EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE	32
5.1.	SOURCES D'EXPOSITION	32
5.2.	ÉVALUATION DES DOSES EFFICACES ANNUELLES EN POLYNÉSIE FRANÇAISE	33
	Dose efficace annuelle liée à l'exposition externe	33
	Dose efficace annuelle liée à l'inhalation	33
	Dose efficace annuelle liée à l'ingestion	35
	Dose efficace annuelle totale	37
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 lagonaire et du milieu terrestre. En 2019-2020, les denrées proviennent de neuf îles (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva, Tubuai, Rimatara et Fakarava) localisées dans les cinq archipels. Les échantillons dans les milieux ont, pour leur part, été prélevés à Tahiti et la crise sanitaire liée au Covid-19 n'a eu aucune conséquence sur la réalisation des prélèvements.

Les niveaux de radioactivité mesurés dans les différents compartiments de l'environnement sont dans la continuité de ceux des années antérieures ; ils se situent à un niveau très bas. Cette radioactivité résiduelle est essentiellement attribuable au ^{137}Cs . Depuis fin 2020, les résultats de mesures en Polynésie française sont intégrés sur le site du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RMN⁽¹⁾) afin de les rendre accessibles au public.

La dose efficace annuelle pour les adultes de Tahiti, somme des doses associées à l'irradiation externe, à l'ingestion et à l'inhalation de radionucléides d'origine artificielle, est de l'ordre de 0,1 % de la dose efficace totale due à la radioactivité d'origine naturelle évaluée à près de 1,4 mSv/an. Cette exposition, attribuable essentiellement au rayonnement cosmique et aux radionucléides naturels, est plus faible que l'exposition moyenne annuelle de la population en métropole, qui est de l'ordre de 3 mSv⁽²⁾, hors exposition médicale.

Depuis 2014, une nouvelle orientation du programme de surveillance a été mise en œuvre. Elle concerne l'étude de la radioactivité artificielle dans les sols, actuellement à l'origine du transfert aux plantes par voie racinaire. Les analyses sont principalement focalisées sur le ^{137}Cs , radionucléide encore décelable dans plus d'un tiers des denrées analysées, les isotopes 238, 239 et 240 du plutonium et le ^{241}Am , peu décelables dans les denrées mais dont les concentrations dans les sols restent stables dans le temps (périodes radioactives longues). Les concentrations mesurées excèdent parfois 1 Bq/kg sec, aussi bien pour le ^{137}Cs que pour le plutonium dans les sols des îles hautes. La finalité de cette étude est d'évaluer la rémanence dans les sols de ces radionucléides et d'en caractériser l'origine. Les résultats obtenus montrent que les retombées radioactives ont une composante régionale plus importante pour les îles de Raiatea et des Gambier que pour les autres îles hautes étudiées.

(1) <https://www.mesure-radioactivite.fr>

(2) En prenant en compte les coefficients de dose du radon réglementaires à la date de publication de ce rapport (IRSN, 2021b).

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 2019-2020, foodstuffs were collected in ten islands (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva, Tubuai, Rimatara and Fakarava) representing of the five archipelagos.

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 . Since the end of 2020, the results of the measurement in French Polynesia are integrated on the website of the *National Measurement Network (RNM⁽³⁾)* to make them available to the public.

The annual effective dose for adults in Tahiti, when adding the doses associated to external irradiation, ingestion and inhalation of artificial radionuclides does not exceed 0.1 % of the dose due to the natural exposure, i.e. about 1.4 mSv/y, mainly due to cosmic radiation and natural radioactivity. This exposure is lower than the average annual exposure of the population in metropolitan France, which is about 3 mSv⁽⁴⁾, excluding medical exposure.

A new orientation of the monitoring program has been implemented since 2014. It concerns the study of radioactivity of artificial origin in soils, being at present the main transfer route to food. The analyses are mainly aimed at assessing ^{137}Cs , a radionuclide still measurable in more than thirty percent of the analyzed food samples, ^{241}Am and 238, 239 and 240 plutonium isotopes, scarcely detectable in food samples, but remain in soils at fairly stable concentration levels over time (long radioactive periods). The measured concentrations in soils of the high islands sometimes exceed 1 Bq/kg dry for both ^{137}Cs and plutonium. The purpose of this study is to assess the persistence of these radionuclides in soils and to characterize their origin. The results obtained show that the radioactive fallouts have a greater regional component for the Raiatea and Gambier islands than for the other high islands studied.

(3) <https://www.mesure-radioactivite.fr/en#/expert>

(4) Taking into account the dose coefficients for radon recommended by the authorities, at the date of publication of this report (IRSN, 2021b).

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 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*) via le ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères.

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 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 en ^{238}Pu issues de la désintégration du réacteur 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 trouve en océan et dans les sols sous forme de dépôt ou incorporés au substrat terrestre, certains d'entre eux contribuent alors à l'irradiation externe ;
- ils peuvent être ensuite 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'ajoute 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).

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 conduisent 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 régulière, 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 naturelle 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.

1 2

PRÉSENTATION DU BILAN DE LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ EN POLYNÉSIE FRANÇAISE EN 2019-2020

Le présent rapport concerne le bilan de la surveillance radiologique pour les années 2019 et 2020 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 de prélèvement de certaines matrices et le nombre d'analyses ont été en conséquence

adaptés [IRSN, 2020]. Il est à noter que la crise sanitaire liée au Covid-19 n'a eu aucune conséquence sur la réalisation des prélèvements. Ce bilan, comme les précédents, s'appuie sur les résultats des analyses effectuées sur différentes matrices de l'environnement. Quelques chroniques temporelles sont présentées pour rendre compte de l'évolution de la concentration des radionucléides artificiels dans les milieux. Les résultats des inventaires de la radioactivité dans les sols pour différentes îles hautes sont discutés. Enfin, une évaluation de l'exposition de la population adulte aux radionucléides mesurés est proposée.

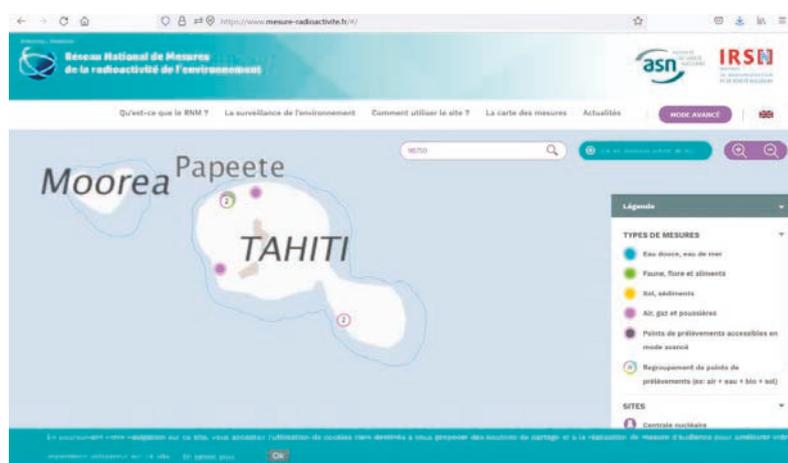
Une annexe à ce rapport [IRSN, 2021a], consultable sur le site internet de l'IRSN (www.irsn.fr), présente de façon exhaustive les résultats de 2019-2020. Les résultats des mesures des aérosols et des denrées alimentaires sont accessibles depuis fin 2020 sur le site www.mesure-radioactivite.fr intitulé Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

LE RÉSEAU NATIONAL DE MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT (RNM)

Le réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement centralise l'ensemble des données de surveillance de la radioactivité de l'environnement en France acquises par les différents acteurs nationaux

(services de l'État, établissements publics, exploitants d'installations nucléaires et autres acteurs privés, publics ou associatifs) et s'assure de leur qualité et de leur harmonisation par une procédure d'agrément.

Depuis 2010, le site www.mesure-radioactivite.fr rend accessible à tous, en toute transparence, les plus de 300 000 mesures réalisées annuellement en France (qui totalisent en 2020 un peu plus de 3,6 millions de données) dans les différents milieux (l'air, l'eau, le sol, la faune et la flore) et dans les produits alimentaires. Le site donne accès aux données sous forme de tableaux et de graphiques permettant de suivre l'évolution dans le temps de l'état radiologique d'un compartiment de l'environnement.



Les résultats de l'IRSN concernant les denrées alimentaires provenant de la Polynésie française ont commencé à être déversés sur le site RNM fin 2020. Une intégration rétroactive des données est en cours afin de rendre accessible au public les résultats des analyses des échantillons prélevés historiquement dans les cinq archipels.

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

La Polynésie française, qui s'étend sur 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 %). La population compte moins de 276 000 habitants (recensement de 2017 [J.O., 2017]).

Du fait de la grande étendue de la Polynésie, les conditions climatiques sont diverses et même très variables localement à petites distances (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

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.



Île de Mangareva (archipel des Gambier).

Les atolls

Ce sont des îles plus anciennes pour lesquelles la barrière récifale est fermée ou quasiment fermée et constitue la seule part de terre émergée, 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 noix de coco et de quelques élevages familiaux : poulets, porcs... Les denrées importées et en provenance des autres îles sont en général moins nombreuses et arrivent plus irrégulièrement que dans les îles hautes.



Hao (atoll des Tuamotu).

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 ;
- caractériser dans les sols la radioactivité artificielle due aux retombées des essais nucléaires atmosphériques effectués sur l'ensemble du globe.

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'eaux de pluie, d'eaux de source 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 ; ils sont effectués tous les semestres. Les prélèvements d'eaux de source sont annuels. Entre 2015 et 2018, les prélèvements de sols ont concerné une à deux îles différentes chaque année, une seule île en 2019 et aucune en 2020.

- 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, bénitiers) 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 a conduit le laboratoire à adapter ces dernières années 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 bio-indicateurs dans les différents milieux afin d'observer l'évolution temporelle de la concentration en ^{137}Cs .

Depuis 2016, des plateaux-repas (entrée, plat, fromage, pain, dessert ou plat unique) ont été ajoutés aux plans de prélèvements. L'approvisionnement des repas midi et soir est effectué chaque année à Tahiti durant cinq jours du lundi au vendredi.

3 2 LIEUX DE PRÉLÈVEMENTS

L'échantillonnage dans les milieux est réalisé à **Tahiti**, hormis pour l'étude spécifique des sols pour laquelle un programme sur plusieurs années vise à estimer un inventaire de la radioactivité déposée sur le territoire. En 2019, les prélèvements de sols ont été effectués à **Maupiti** (archipel de la Société).

L'échantillonnage des denrées alimentaires concerne sept îles identiques depuis 1998 et une huitième différente chaque année depuis 2015.

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 une autre île chaque année.

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

Les îles supplémentaires retenues en 2019 et 2020 sont l'île haute de **Rimatara** située dans l'archipel des Australes et l'atoll de **Fakarava** située dans l'archipel des Tuamotu. La localisation de ces neuf îles est indiquée sur la carte de la Figure 1.

Les denrées alimentaires de Tahiti, de Tubuai, de Rimatara et de Fakarava ont été collectées par le personnel du laboratoire. Pour les autres îles, les collectes et les envois des échantillons ont été pris en charge par cinq correspondants-résidents permanents.

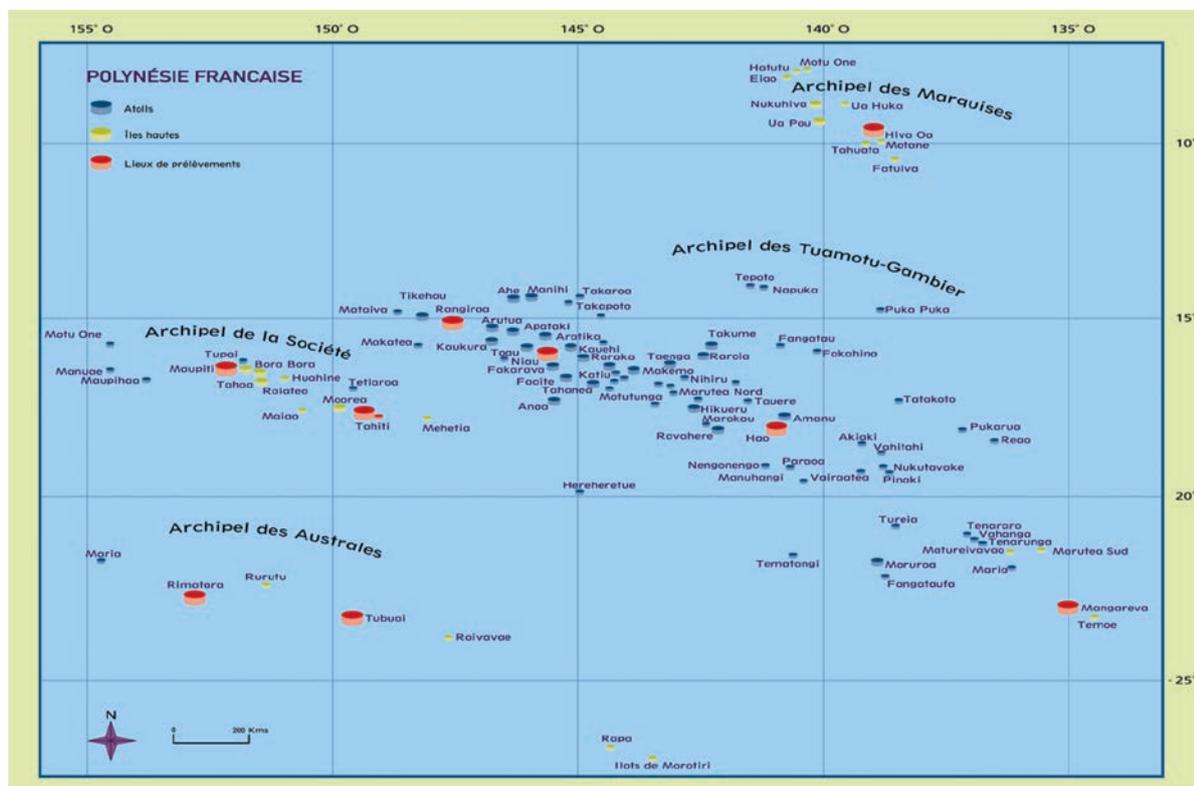


Figure 1. Localisation des neuf îles de Polynésie française du programme de surveillance radiologique 2019-2020.

4 NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION

En 2019, le nombre total de prélèvements est de 165 :

- 152 prélèvements, 135 denrées alimentaires et 17 dans les milieux, dans le cadre du constat annuel relatifs aux 8 îles ;
- 10 prélèvements de plateaux-repas pour l'évaluation de la dose due à l'ingestion ;
- 3 carottages de sols découpés en section de 2 à 5 cm d'épaisseur, soit 36 échantillons, pour la réalisation des inventaires de la radioactivité ;

En 2020, le nombre total de prélèvements est de 169 :

- 159 prélèvements, 142 denrées alimentaires et 17 dans les milieux, dans le cadre du constat annuel relatifs aux 8 îles ;
- 10 prélèvements de plateaux-repas pour l'évaluation de la dose due à l'ingestion ;

Le LESE dispose d'équipements dédiés à la mesure directe non destructive par spectrométrie gamma (γ) et destructive par spectrométrie alpha (α) (Figure 2). La spectrométrie γ est employée pour mesurer simultanément un très grand nombre de radionucléides d'origines artificielle et naturelle, émetteurs gamma. La spectrométrie α 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 γ des prélèvements d'aérosols effectuées par le laboratoire de l'IRSN à Orsay (91) ;
- des analyses α pour quantifier le ^{210}Po dans les bénitiers, effectuées par le laboratoire de l'IRSN du Vésinet (78) ;
- d'une partie des analyses (^{90}Sr , ^3H , ^{14}C , U isotopique, ^{210}Po , ^{226}Ra) des prélèvements de plateaux-repas et des eaux de boisson, effectuées par les laboratoires de l'IRSN du Vésinet et d'Orsay, complétant celles réalisées localement pour l'estimation de la dose par ingestion ;
- des analyses α et ICPMS HR des échantillons de sols effectuées par le laboratoire d'Orsay.

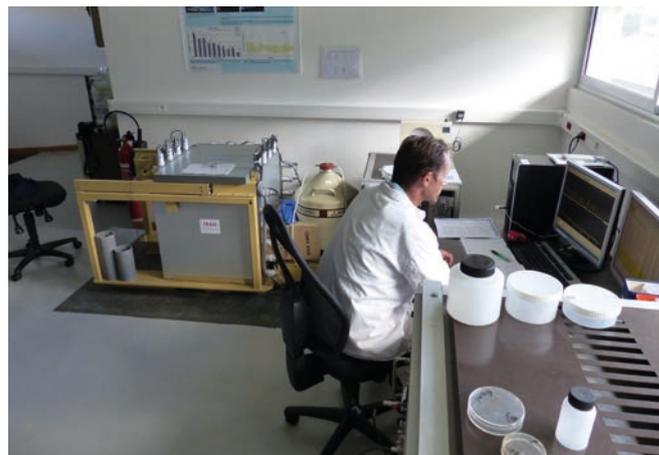


Figure 2. Laboratoires de mesure gamma et de radiochimie du LESE.

4 1 CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS DES MILIEUX

Radioactivité de l'air

Le Tableau 1 présente les concentrations moyennes annuelles de 2018 à 2020 pour les cinq radionucléides mesurés par spectrométrie γ , ^{137}Cs , ^7Be , ^{22}Na , ^{40}K et ^{210}Pb , dans les aérosols prélevés à Tahiti 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, 2021a].

Le seul radionucléide artificiel émetteur γ 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 $0,13 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ($0,00000013 \text{ Bq}/\text{m}^3$) à Tahiti et les moyennes annuelles en 2019-2020 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 2020 (Figures 3 et 4) avec une variabilité plus élevée en métropole qu'à Tahiti.

Les quatre radionucléides d'origine naturelle mesurés par spectrométrie γ 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 remis en suspension dans l'air (^{40}K) ou résultant de la désintégration du radon (^{210}Pb).

Tableau 1. 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 2018 à 2020.

Radionucléides	Concentrations moyennes annuelles ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)					
	Tahiti (Vairao)			Métropole (Orsay 91)		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Artificiels						
^{137}Cs	$0,08 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,04$	$0,08 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,03$
Naturels						
^7Be	$3\,180 \pm 460$	$3\,000 \pm 430$	$3\,230 \pm 450$	$3\,490 \pm 490$	$3\,330 \pm 470$	$3\,700 \pm 520$
^{22}Na	$0,22 \pm 0,06$	$0,20 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,05$	$0,33 \pm 0,09$	$0,35 \pm 0,08$	$0,33 \pm 0,08$
^{40}K	$9,9 \pm 1,7$	$8,7 \pm 1,5$	$9,0 \pm 1,5$	$5,7 \pm 1,3$	$5,4 \pm 1,2$	$5,7 \pm 1,1$
^{210}Pb	70 ± 11	68 ± 10	83 ± 12	357 ± 51	285 ± 41	333 ± 47

Concentration du ^{137}Cs ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)

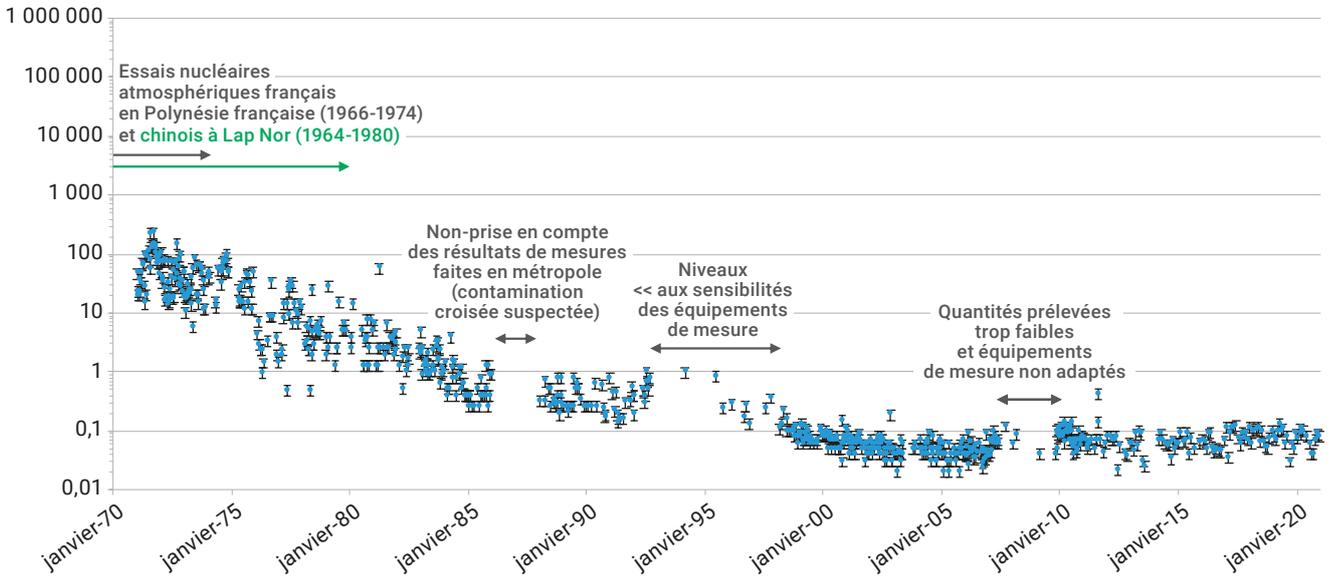


Figure 3. Concentration en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ du ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Tahiti de janvier 1971 à décembre 2020.

Concentration du ^{137}Cs ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)

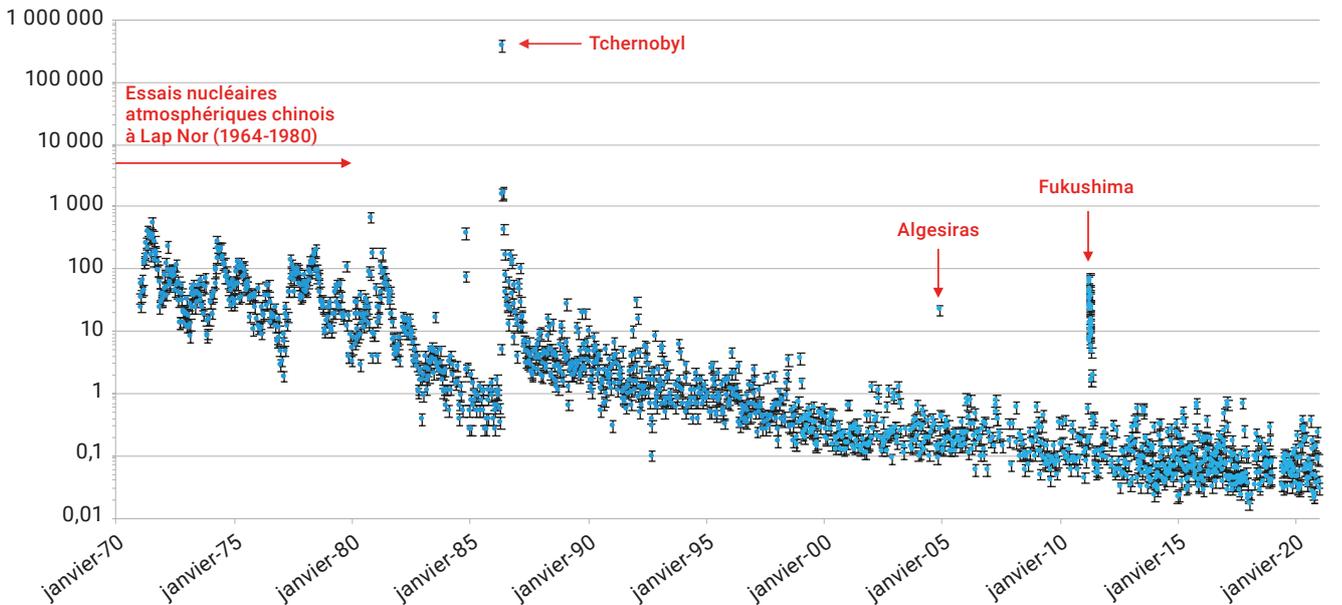


Figure 4. Concentration en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ du ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Orsay (Essonne) de janvier 1971 à décembre 2020.

Radioactivité de l'eau

L'eau de mer

Les prélèvements d'eau de mer, 160 à 180 litres⁽⁵⁾, ont été effectués dans le lagon de Vairao à Tahiti tous les six mois en 2019-2020 (Tableau AI-5 [IRSN, 2021a]). La baisse continue dans le temps de la concentration du ^{137}Cs est toujours observée, avec une valeur moyenne de $0,87 \pm 0,02$ mBq/L ces deux dernières années.

L'évolution de la concentration du ^{137}Cs dans l'eau de mer depuis 1983 est représentée sur la Figure 5. 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 2020 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. 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 2015.

La diminution de la concentration du ^{137}Cs observée sur cette période de plus de 30 ans, avec une période apparente de 19 ans, correspond essentiellement à la décroissance radioactive ($T = 30,1$ ans) et à la dispersion de ce radionucléide dans la masse océanique. La similitude des teneurs en ^{137}Cs mesurées dans les eaux océaniques au large de Moruroa et dans les eaux lagunaires de Tahiti indique que la dilution de ce radionucléide dans l'océan ne permet pas de signer la proximité ou non d'un site où se sont déroulés des essais nucléaires atmosphériques il y a plus de 40 ans. Les concentrations du ^{137}Cs mesurées dans l'eau de mer à l'échelle du Pacifique sud ces dernières années révèlent aussi une relative homogénéité [Yamada, 2007 ; Hirose, 2007].

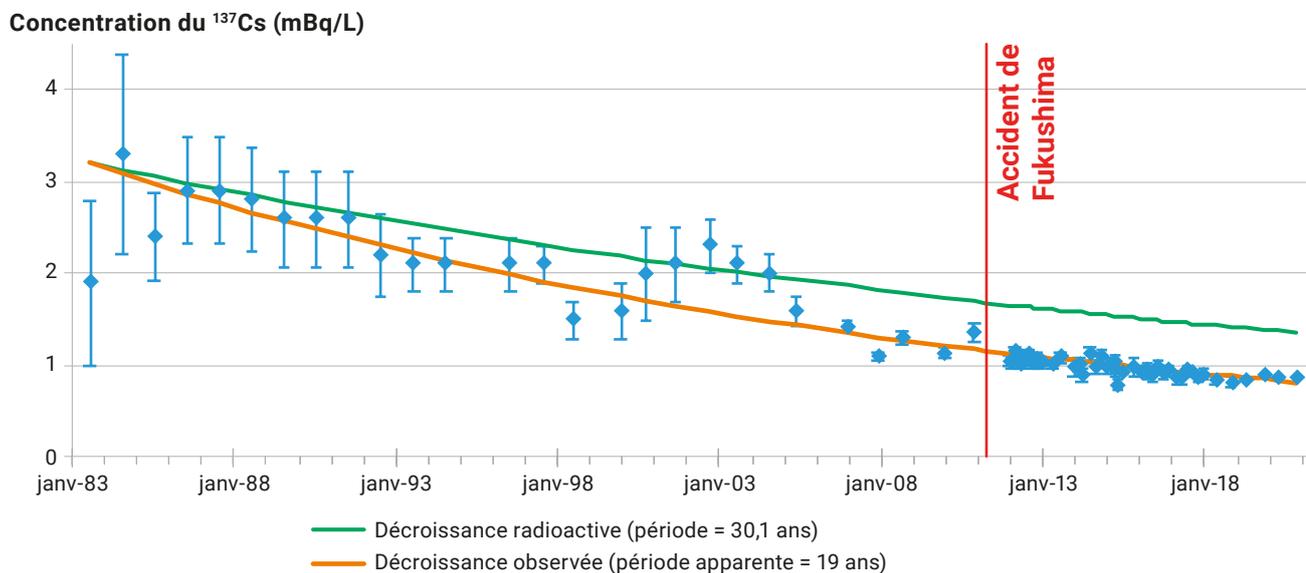


Figure 5. Concentration du ^{137}Cs en mBq/L dans l'eau de mer océanique ou lagunaire de la ZEE de la Polynésie française de 1983 à 2020.

(5) 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

Les eaux douces

Les sites de prélèvement depuis 2008 sont indiqués sur la Figure 6. Les prélèvements des eaux de source et de rivière ont plus particulièrement concerné la côte est de Tahiti et la presqu'île car la pluviométrie, à l'origine d'une grande partie des dépôts radioactifs au sol, y est généralement plus élevée⁽⁶⁾.

En 2019-2020, le ¹³⁷Cs n'a été détecté ni dans l'eau de pluie collectée à Vairao (presqu'île de Tahiti), ni dans les prélèvements d'eau de source réalisés à Mahina (côte est de Tahiti) et à Vairao. Il n'y a pas eu de prélèvement d'eau de rivière ces deux années. Les analyses par spectrométrie γ de grands volumes, 300 L à 400 L, des eaux de rivière des dix années précédentes ont permis de détecter la présence de ¹³⁷Cs à des concentrations extrêmement faibles, proches du seuil de décision (SD)⁽⁷⁾. D'une manière générale, les valeurs mesurées dans les prélèvements sont cohérentes avec la pluviométrie des sites de prélèvement (valeurs plus élevées là où la pluviométrie a été plus importante durant la période des essais).

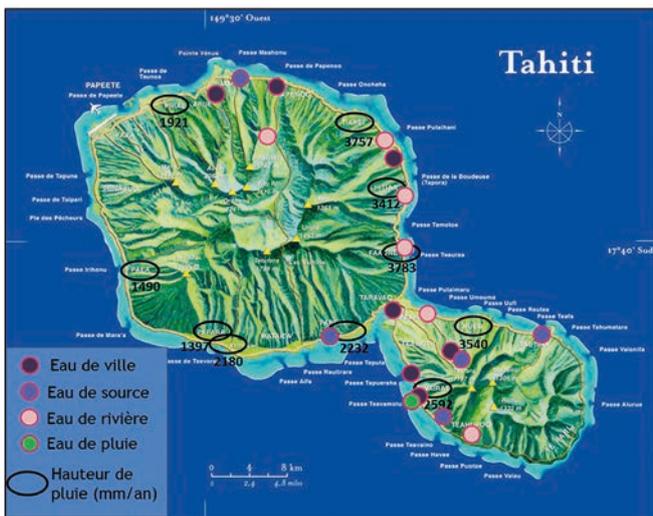


Figure 6. Localisation des prélèvements d'eaux douces effectués à Tahiti depuis 2008 et des stations Météo France. Les hauteurs de pluie moyennes annuelles disponibles sur la période 1966-1975 sont indiquées pour chaque station (cercle noir).

(6) Les hauteurs de pluie annuelles moyennes relevées par les stations Météo France entre 1966 et 1975 (période des essais nucléaires français en Polynésie) sont également présentées en Figure 6. Pour certaines stations, les relevés n'ont commencé qu'en 1967 ou 1968 et ils n'existent que pour les années 1968, 1969 et 1975 à Vairao.

(7) 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, 1973] 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 tirs ;
- **stratosphériques**, durant quelques mois à quelques années après le tir, sur l'ensemble du globe.

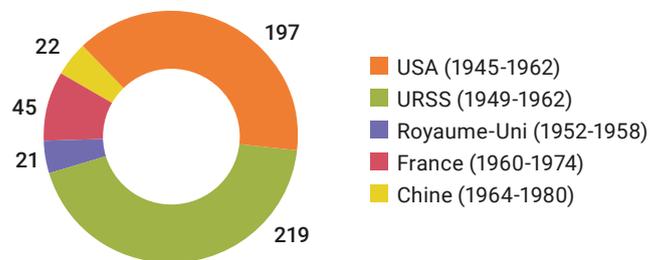


Figure 7. Nombre d'essais nucléaires atmosphériques effectués par les grandes puissances entre 1945 et 1980.

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 (Kirimati) à proximité de l'équateur à 2° de latitude nord, alors que les retombées stratosphériques concernent les deux hémisphères avec une répartition à 75 % dans l'hémisphère de l'essai et à 25 % dans l'autre hémisphère [Benett, 1978]. La Figure 8-A synthétise la proportion et l'énergie (Mt) par site d'essais des retombées troposphériques dans l'hémisphère sud.

La répartition par puissance nucléaire des retombées stratosphériques dans l'hémisphère sud, exprimées en Mt d'énergie de fission, 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 % proviennent de l'ensemble des autres essais effectués dans les deux hémisphères.

L'activité du ¹³⁷Cs déposé dans l'hémisphère sud a été évaluée par l'UNSCEAR [UNSCEAR, 2000] à 213 PBq (1 PBq = 10¹⁵ 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.

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. Ainsi les pluies plus intenses sur la côte orientale lors des retombées directes de l'essai Centaure à Tahiti en 1974 expliquent un dépôt plus élevé que sur d'autres parties de l'île [ministère de la Défense, 2006].

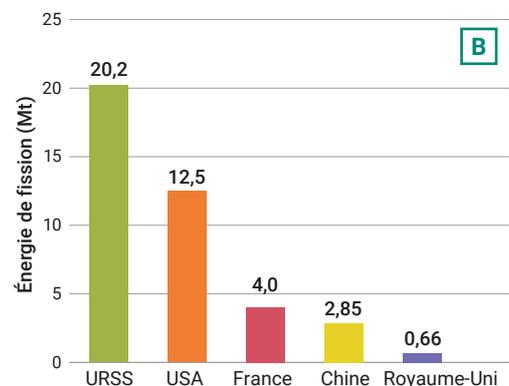


Figure 8. A) Proportion et énergie (Mt) par site d'essais des retombées troposphériques.

B) Répartition par puissance nucléaire des retombées stratosphériques dans l'hémisphère sud, exprimées en Mt d'énergie de fission.

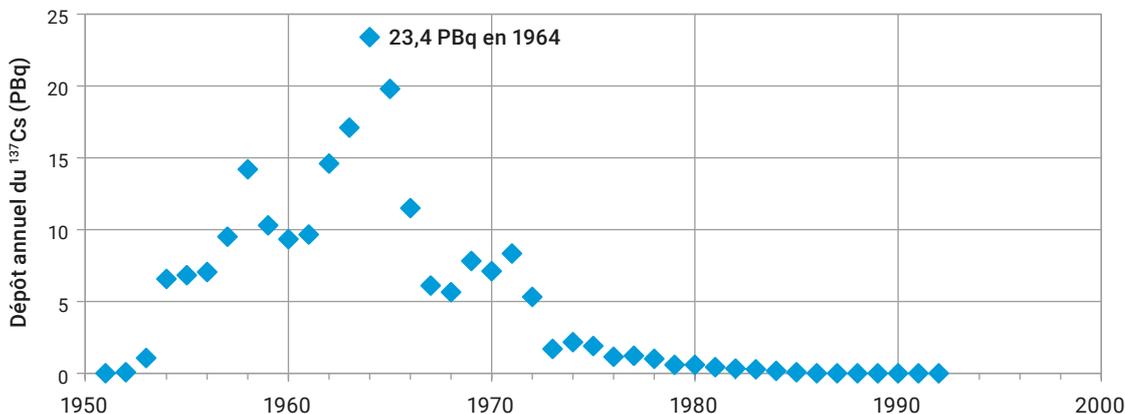


Figure 9. Dépôt annuel du ¹³⁷Cs dans l'hémisphère sud [UNSCEAR, 2000].

Rémanence de la radioactivité artificielle dans les sols de Polynésie française

Aujourd'hui, le sol contient encore une fraction des retombées radioactives des essais nucléaires atmosphériques anciens. Les radionucléides présents 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 le ^{241}Am ⁽⁸⁾.

Les îles concernées par cette étude de l'IRSN sur la mesure des concentrations de la radioactivité dans les sols sont situées dans les archipels des Australes (Raivavae) [IRSN, 2016 ; Bouisset, 2018], des Marquises (Hiva Oa et Nuku Hiva) [IRSN, 2018 ; Bouisset, 2018], des Gambier (Mangareva, Akamaru, Aukena et Taravai) [IRSN, 2020 ; Bouisset, 2021] et de la Société (Raiatea [IRSN, 2020], Huahine et Maupiti), à des distances comprises entre 425 km et 1 450 km des sites d'essais français de Moruroa et de Fangataufa et entre 1 450 et 3 000 km du site d'essai anglais aux Malden (Figure 10).

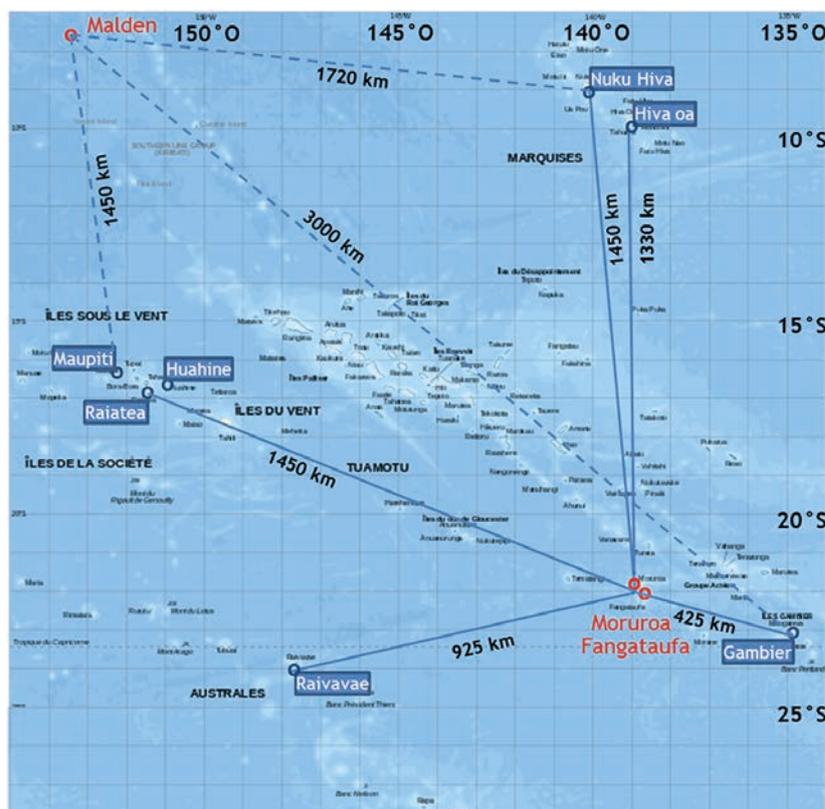


Figure 10. Position des îles dont les sols ont été échantillonnés entre 2015 et 2019 par rapport aux sites d'essais français de Moruroa et de Fangataufa et au site d'essais anglais des îles Malden.

(8) ^{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.

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 sur les îles concernées. 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 γ (^{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 .

En 2019, les échantillonnages des sols ont été effectués sur trois sites à Maupiti. Les caractéristiques des prélèvements sont indiquées en annexe (Tableau AI-11 [IRSN, 2021a]). Les résultats d'analyse du ^{137}Cs pour les îles de Maupiti et de Huahine, ceux en plutonium et en ^{241}Am pour les îles Gambier sont rapportés dans le présent rapport. Afin de pouvoir comparer directement les résultats pour des échantillonnages de dates différentes, les activités sont ramenées à la date de mai 2018.



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

¹³⁷Cs DANS LES SOLS
DES ÎLES DE HUAHINE ET DE MAUPITI
(ARCHIPEL DE LA SOCIÉTÉ)

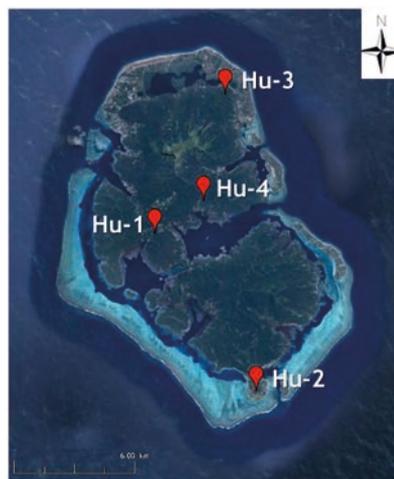


Figure 12. Localisation des sites de prélèvement des sols de Maupiti (16° S) en avril 2019 et de Huahine (17° S) en mai 2018.

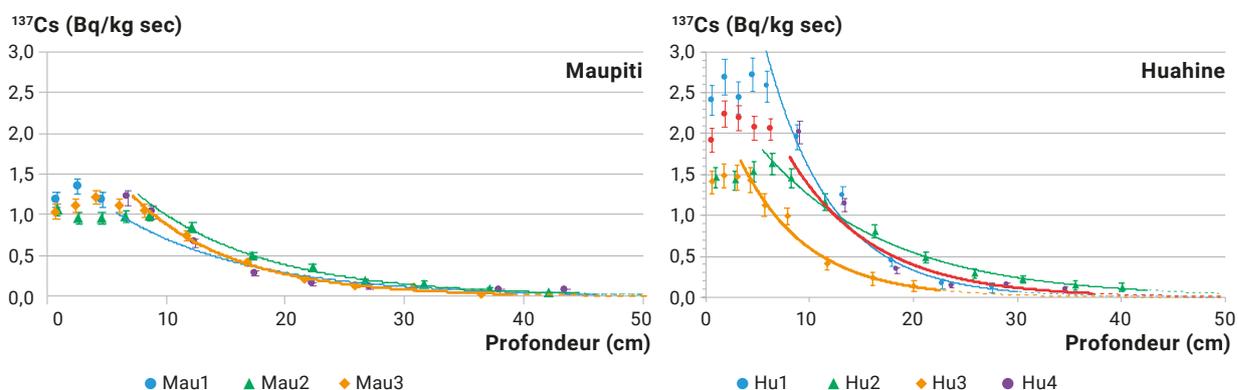


Figure 13. Concentration du ¹³⁷Cs en fonction de la profondeur (densité = 1) pour les sols des quatre sites de Huahine et des trois sites de Maupiti. Les courbes sont établies par un ajustement exponentiel au-delà d'une profondeur de quelques centimètres.

Tableau 2. Répartition en profondeur et médiane de l'activité du ¹³⁷Cs dans les sols des sites de Huahine et de Maupiti.

		Huahine				Maupiti			
		Hu1	Hu2	Hu3	Hu4	Mau1	Mau2	Mau3	
Répartition de l'activité (%)	Expérimentale	0 – x* cm	99	96	96	99	98	96	99
	Extrapolée	x* – ∞	1	4	4	1	2	4	1
Médiane de la répartition (cm)			6,1	9,0	4,9	6,7	6,7	9,3	7,3

* x = 22 à 42 cm en fonction des sites de Huahine et x = 39 à 46 cm pour les sites de Maupiti.

¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu ET ²⁴¹Am
DANS LES SOLS DE MANGAREVA,
AKAMARU, AUKENA ET TARAVAI
(ARCHIPEL DES GAMBIER)



Figure 14. Localisation des sites de prélèvement des sols à Mangareva, Akamaru, Aukena et Taravai (îles des Gambier) en mai 2018. Le site Ga4 est un site remanié.

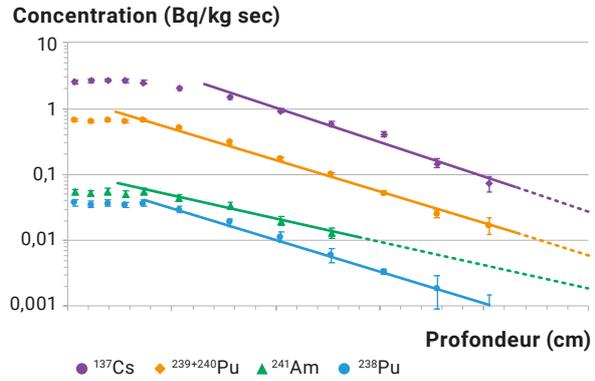


Figure 15. Concentration moyenne du ¹³⁷Cs, du ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, du ²³⁸Pu et du ²⁴¹Am en fonction de la profondeur (densité = 1) dans les sols des six sites des Gambier analysés. Les courbes sont établies par un ajustement exponentiel au-delà d'une profondeur de quelques centimètres.

Tableau 3. Répartition en profondeur et médiane des activités du ¹³⁷Cs, du ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, du ²³⁸Pu et de l'²⁴¹Am dans les sols des six sites des Gambier. Les données pour le ¹³⁷Cs sont indiquées dans le bilan précédent [IRSN, 2020].

			Aukena	Akamaru	Taravai	Mangareva		
¹³⁷ Cs			Ga1	Ga2	Ga3	Ga5	Ga6	Ga7
Répartition de l'activité (%)	Expérimentale	0 - x ₁ * cm	99,9	99,2	98,5	97,9	99,5	98,8
	Extrapolée	x ₁ - ∞	0,1	0,8	1,5	2,1	0,5	1,2
Médiane de la répartition (cm)			7,2	11,6	10,4	10,2	9,9	12,7
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu			Ga1	Ga2	Ga3	Ga5	Ga6	Ga7
Répartition de l'activité (%)	Expérimentale	0 - x ₁ * cm	99,8	99,7	98,9	98,0	99,9	96,9
	Extrapolée	x ₁ - ∞	0,2	0,3	1,1	2,0	0,1	3,1
Médiane de la répartition (cm)			6,5	8,8	8,5	6,5	6,1	10,7
²³⁸ Pu			Ga1	Ga2	Ga3	Ga5	Ga6	Ga7
Répartition de l'activité (%)	Expérimentale	0 - x ₁ * cm	99,1	98,9	98,5	99,4	99,9	98,3
	Extrapolée	x ₁ - ∞	0,9	1,1	1,5	0,6	0,1	1,7
Médiane de la répartition (cm)			6,3	8,8	8,0	6,1	7,0	10,3
²⁴¹ Am			Ga1	Ga2	Ga3	Ga5	Ga6	Ga7
Répartition de l'activité (%)	Expérimentale	0 - x ₂ * cm	99,5	82,4	83,9	94,3	81,4	78,3
	Extrapolée	x ₂ - ∞	0,5	17,6	16,1	5,7	18,6	21,7
Médiane de la répartition (cm)			6,6	10,9	10,0	7,4	10,0	13,0

* x₁ = 40 à 49 cm et x₂ = 26 à 32 cm en fonction des sites.

Commentaires des principaux résultats d'analyse des sols

Activités du ^{137}Cs dans les sols de Maupiti et de Huahine

Au-delà de quelques centimètres de profondeur, pour tous les sites des îles de Huahine et de Maupiti, la concentration du ^{137}Cs diminue de façon exponentielle (Figure 13). Cette diminution avec la profondeur a aussi été observée pour les sites des îles de Raiatea, de Hiva Oa, de Raivavae et des Gambier dans les précédents bilans. On peut noter qu'aujourd'hui (Tableau 2) plus de la moitié de l'activité du ^{137}Cs présent dans les sols de Maupiti et de Huahine est encore située dans les 10 premiers centimètres de profondeur ; l'activité résiduelle au-delà des profondeurs mesurées n'excède pas 4 %.

Déposé au sol en grande partie avant 1965, la vitesse de migration verticale du ^{137}Cs dans le sol est de l'ordre de 2 à 3 mm/an pour l'ensemble des sites, similaire aux vitesses de migration déjà relevées pour les autres îles [IRSN, 2020] et dans la gamme des valeurs rapportées pour les sols des régions tempérées de l'hémisphère nord [Kirchner, 2009].

Activités du ^{238}Pu et du $^{239+240}\text{Pu}$ dans les sols des îles Gambier

Les teneurs en $^{239+240}\text{Pu}$ et en ^{238}Pu dans les sols des Gambier sont plus élevées que dans les sols des autres îles échantillonnées. La diminution de la teneur en plutonium en fonction de la profondeur (Figure 15) est relativement parallèle à celle du ^{137}Cs avec une médiane de la répartition (Tableau 3) similaire pour le ^{238}Pu et le $^{239+240}\text{Pu}$ (entre 6,1 et 10,7 cm en fonction des sites).

Estimation d'un inventaire des retombées en ^{137}Cs et en plutonium

La reconstitution d'un inventaire des retombées en ^{137}Cs et en plutonium est proposée sur la base des profils de concentrations établis précédemment.

Les inventaires obtenus (Figure 16) sont comparés aux estimations des activités surfaciques déposées lors des retombées globales (stratosphériques) des essais nucléaires calculées par l'UNSCEAR (2000) et établis pour le plutonium par Hardy (1973) corrigées des retombées stratosphériques résiduelles après les années 1970 [Bouisset, 2018].

Alors que l'intensité des retombées globales est principalement dépendante de la latitude [UNSCEAR, 2000], nous avons relevé [IRSN, 2020] que l'inventaire en ^{137}Cs était plus élevé aux Gambier qu'à Raivavae, alors qu'il s'agit de deux îles hautes, situées à des latitudes proches (23° S et 24° S respectivement, Figure 10), et avec toutes deux un climat tropical maritime où les taux de précipitations répartis sur l'année sont similaires. La valeur de l'inventaire en ^{137}Cs à Raivavae est en accord avec celle indiquée par l'UNSCEAR dans la bande de latitude $20\text{-}30^\circ \text{ S}$, celle au Gambier est 40 % plus élevée. De même, les inventaires en ^{238}Pu et en $^{239+240}\text{Pu}$ dans les sols de Raivavae sont en accord avec les valeurs des retombées globales alors que ceux des Gambier sont trois fois plus élevés en ^{238}Pu et sept fois plus élevés en $^{239+240}\text{Pu}$. Compte tenu de leur position par rapport aux sites d'essais français, sud-est et sud-ouest respectivement pour les Gambier et pour Raivavae, cet inventaire plus élevé aux Gambier pourrait provenir d'une plus forte intensité des retombées locales sur ces îles que sur Raivavae suite aux essais atmosphériques effectués à Moruroa et à Fangataufa.

Ne disposant pas encore des résultats des mesures d'activités en plutonium pour les sols des îles de Huahine et de Raiatea, seules les valeurs en ^{137}Cs peuvent être discutées. L'inventaire en ^{137}Cs de l'île de Maupiti est similaire à celui de Hiva Oa peu touchée par des retombées troposphériques et locales des essais français. Maupiti est l'île la plus à l'ouest de l'archipel de la Société et la plus distante des sites d'essais français (Figure 10). Les îles de Huahine et de Raiatea, à la même latitude que Maupiti, sont plus proches de Tahiti qui a été l'objet de retombées directes en particulier suite à l'essai Centaure en 1974 [ministère de la Défense, 2006]. Les retombées directes sur la Société ont donc impacté d'autres îles que Tahiti en regard de l'inventaire en ^{137}Cs un peu plus élevé à Huahine et deux fois plus élevé à Raiatea qu'à Maupiti. Les rapports d'activités des différents radionucléides mesurés dans les sols des îles de Hiva Oa, Raiatea, Raivavae et Gambier confirment que les retombées locales ne sont pas décelables à Hiva Oa, faibles à Raiatea et à Raivavae et importantes aux Gambier (cf. encadré).

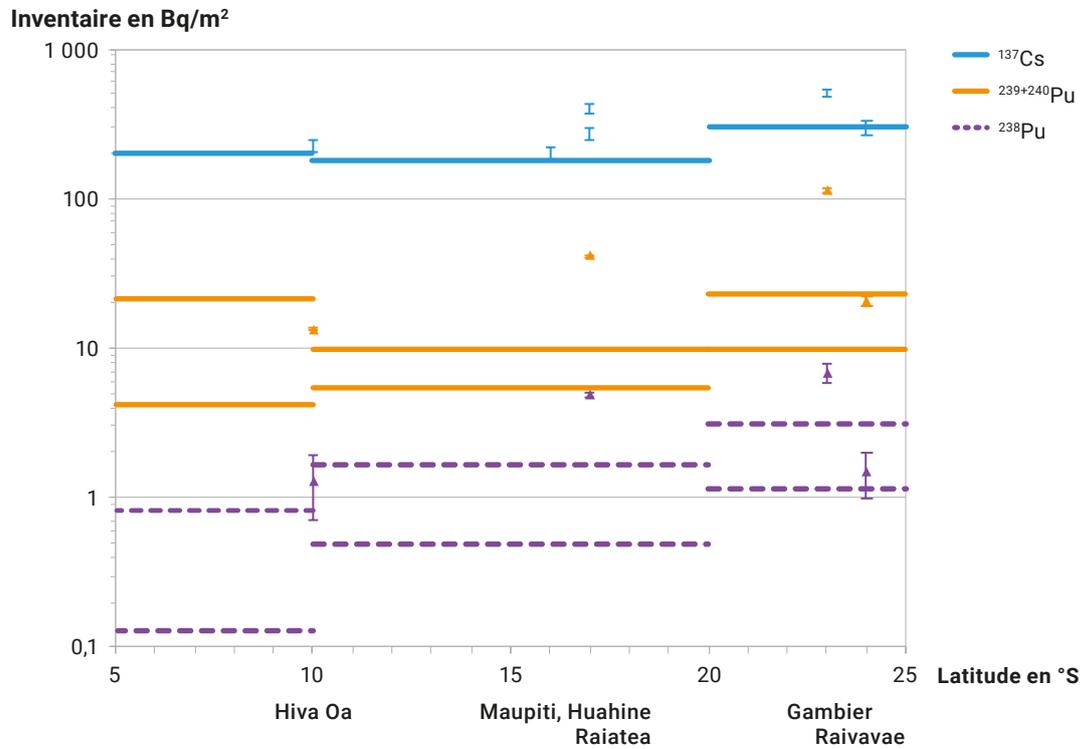


Figure 16. Inventaires en ¹³⁷Cs pour les sols des six îles et inventaires en ²³⁸Pu et en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu pour Hiva Oa, Raiatea, Gambier et Raivavae. Les résultats sont placés en fonction de la latitude des îles dont les noms sont indiqués en bas de la figure. Les lignes horizontales correspondent aux valeurs de références des retombées globales dans les bandes de latitude 0-10° S, 10-20° S et 20-30° S, pour le ¹³⁷Cs [UNSCEAR, 2000] (segments de droite bleus), pour le ²³⁹⁺²⁴⁰Pu (segments de droite orange) et pour le ²³⁸Pu [Hardy, 1973] (segments de droite pointillés violets).

SIGNATURES ISOTOPIQUES

Les radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement peuvent provenir d'activités industrielles (électronucléaires, traitement du combustible),

médicales, de recherches ou militaires. Ces différentes activités peuvent générer des radionucléides spécifiques. En outre, les rapports des concentrations de différents radionucléides varient également avec leur origine. On considère ces radionucléides spécifiques ou ces rapports de concentrations comme des signatures d'une origine particulière. À titre d'exemple, le ^{134}Cs décelé dans l'environnement peut provenir de l'accident d'une centrale nucléaire comme Tchernobyl ou Fukushima mais est absent des retombées des essais nucléaires atmosphériques. Pour ces derniers, les signatures des retombées globales sont parfois différentes des retombées locales/régionales comme c'est le cas au Nevada (essais américains), en Australie (essais anglais) ou en Polynésie française (essais français). Ces rapports de concentrations sont généralement des rapports d'activités ou des rapports du nombre d'atomes lorsqu'il s'agit des isotopes du plutonium à vies longues.

Ainsi, **les rapports d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ à Raiatea**, Raivavae et Hiva Oa (Figure 17) sont dans la gamme de la valeur évaluée ($0,12 \pm 0,04$) dans l'hémisphère sud en 1970 [Hardy, 1973] en tenant compte des activités résiduelles retombées après 1970 [Bouisset, 2018]. Pour les Gambier, ce rapport d'activité ($0,06 \pm 0,1$) est environ deux fois plus faible que celui des retombées globales, indiquant qu'il y a la contribution d'une autre source (retombées locales) pour cet archipel.

Le rapport d'activités $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ des retombées dans l'hémisphère sud, composées d'un mélange des retombées des tirs des deux hémisphères, a été estimé en 2018 à $21,9 \pm 0,1$ [Bouisset, 2021]. Cette valeur est dans la gamme de celles mesurées à Hiva Oa et à Raivavae ainsi que dans les régions australiennes non impactées par les retombées directes des essais anglais [Everett, 2008 ; Tims, 2013]. Des valeurs deux fois plus faibles à Raiatea et quatre fois plus faibles aux Gambier (Figure 17) signent l'influence des retombées locales, liées aux tirs français, se surajoutant aux retombées globales.

Le rapport d'activité $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ calculé à partir des retombées globales annuelles dans l'hémisphère sud de l'UNSCEAR est de 0,38 en 2018, similaire à la valeur moyenne de $0,37 \pm 0,08$ mesurée dans les sections 4-6 cm des sols de Hiva Oa (Figure 17). Le rapport moyen de $0,100 \pm 0,012$ dans les sols des Gambier confirme une contribution importante de retombées locales pour lesquelles les signatures sont bien plus faibles que celle des retombées globales : $0,025 \pm 0,008$ à Moruroa et $0,070 \pm 0,012$ à Fangataufa [Bouisset, 2021].

Les rapports entre les nombres d'atomes des isotopes 239 et 240 du plutonium (Figure 18) à Hiva Oa sont en accord avec celui des retombées globales alors que ceux de Raiatea et de Raivavae sont légèrement influencés par les retombées locales provenant des essais de Moruroa et de Fangataufa. Pour les Gambier, le rapport des deux isotopes est similaire à leur signature mesurée sur ces deux atolls.



Rapport des inventaires d'activité

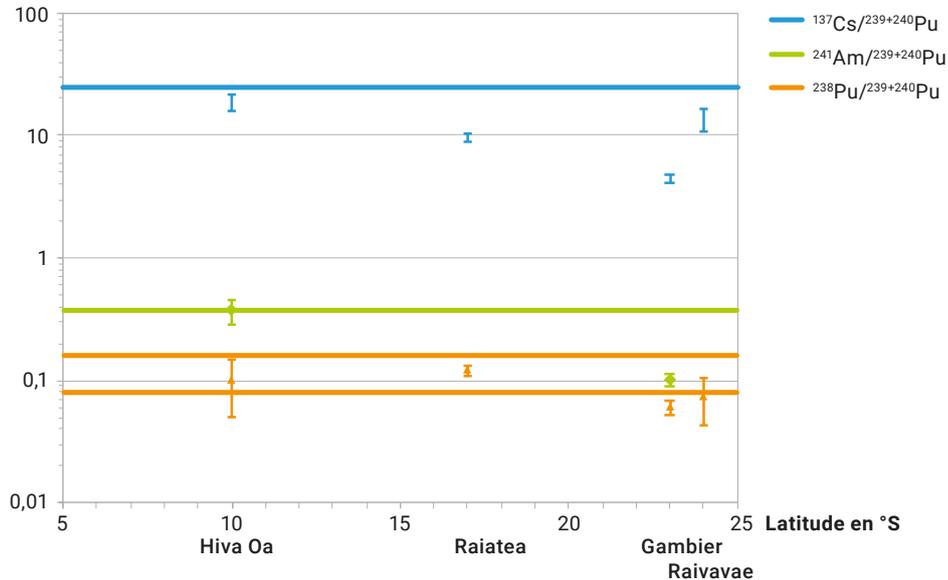


Figure 17. Rapport des inventaires d'activité $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$, $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ en fonction de la latitude des îles de Hiva Oa, Raiatea, Gambier et Raivavae comparés aux inventaires moyens des retombées globales de l'UNSCAER (2000) pour le rapport $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ (segment bleu) et pour le rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ (segment vert) ainsi que pour les retombées moyennes dans l'hémisphère sud [Hardy, 1973] pour le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ (segments orange).

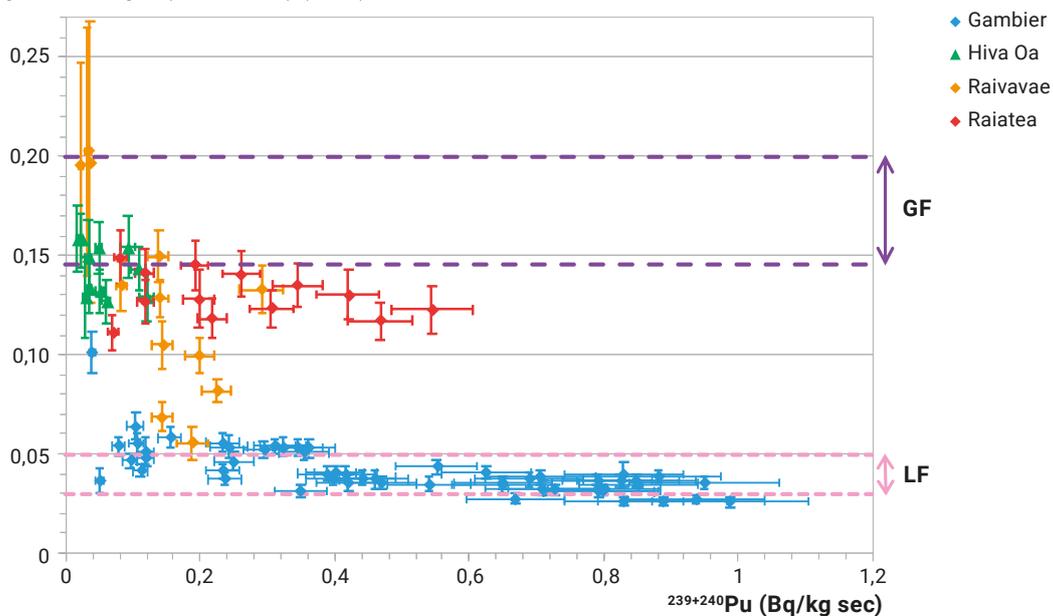
Rapport atomique ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) (at/at)

Figure 18. Rapport du nombre d'atomes ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) en fonction de l'activité mesurée en $^{239+240}\text{Pu}$ pour toutes les sections, jusqu'à 30 cm de profondeur, des sols des six sites des Gambier et de quelques sections pour tous les sites de Hiva Oa, de Raiatea et de Raivavae. Les signatures des retombées globales (GF) [Kelley, 1999] et des retombées locales (LF) [Chiappini, 1996,1999 ; Hrnccek, 2005], sont indiquées par les traits pointillés horizontaux.

4 2 CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES DENRÉES ALIMENTAIRES EN 2019-2020

Les prélèvements des denrées alimentaires effectués tout au long de l'année dans les cinq archipels sont complétés par un échantillonnage de plateaux-repas provenant de restaurants d'entreprise et de snack-roulottes de Tahiti. Les résultats des mesures sont exploités pour estimer une dose efficace par ingestion. Cette approche se substitue depuis 2016 à celle basée jusqu'alors sur l'utilisation d'une ration alimentaire issue d'une enquête réalisée en 1982 et qui n'a pas fait l'objet de mise à jour récente.

- Quarante-et-un types de denrées alimentaires issues des milieux marin et terrestre ont été échantillonnés dans neuf îles de Polynésie française. La répartition de ces produits par catégorie est indiquée sur la Figure 19. À ces produits locaux et régionaux s'ajoutent 12 échantillons de produits importés. Au total, 277 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 bénéitiers). Tous les échantillons ont été mesurés par spectrométrie γ et le plutonium a été recherché par spectrométrie α dans 21 d'entre eux (poissons de lagon, bénéitiers et chair de coco) pour lesquels des traces de ces isotopes étaient encore décelées ces dernières années ;

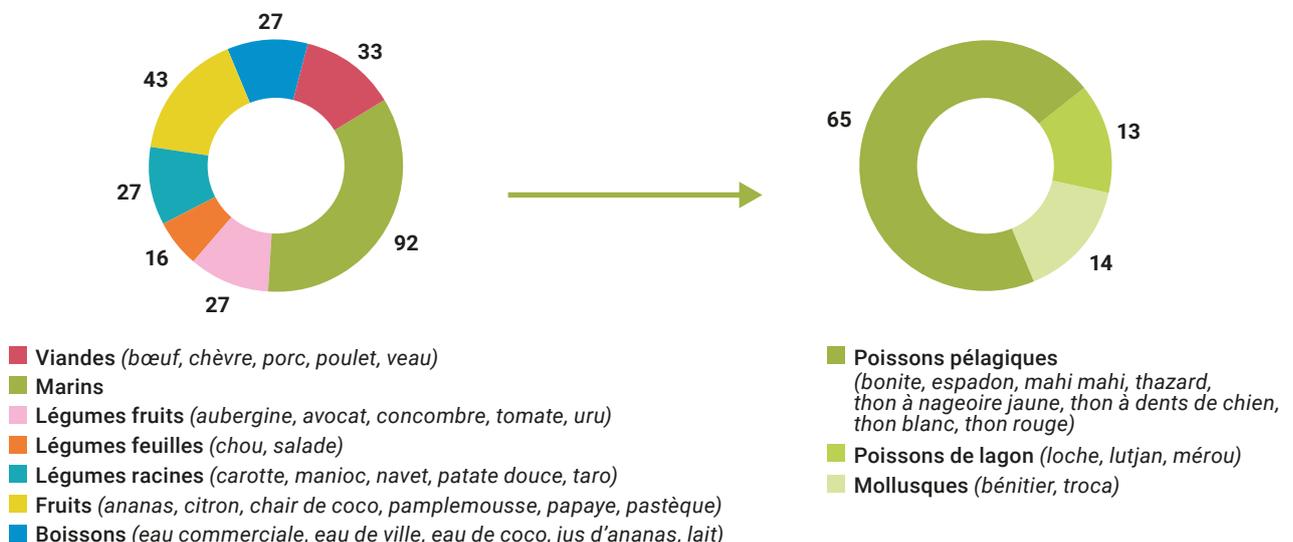


Figure 19. Répartition des prélèvements locaux et régionaux des denrées alimentaires en 2019-2020.

- Vingt plateaux-repas ont été collectés. Pour chacune des deux années, deux échantillons ont été constitués, l'un à partir des aliments consommés avec les cinq repas hebdomadaires du midi, l'autre à partir de ceux des cinq repas du soir. Les quatre échantillons constitués ont été mesurés par spectrométrie γ et α . En complément de ces mesures, d'autres techniques analytiques (scintillation liquide, émanométrie, comptage proportionnel, AMS, mesure du tritium organiquement lié par la méthode ^3He et spectrométrie de masse ICPMS HR) ont été utilisées en regroupant les échantillons du midi et du soir de chacune des deux années afin de déterminer la concentration moyenne des radionucléides d'origine naturelle dans l'alimentation.

– Milieu marin –

Parmi les 92 prélèvements du milieu marin effectués, on distingue ceux du milieu océanique (poissons pélagiques) de ceux du milieu lagunaire (poissons de lagon, bénéitiers et trocas).

Poissons pélagiques

Soixante-cinq prélèvements de poissons pélagiques de huit espèces différentes ont été effectués au voisinage des cinq archipels (Figure 20). Les concentrations de ^{137}Cs mesurées dans les échantillons frais (Tableaux AII-1 à AII-9 [IRSN, 2021a]) sont dans la continuité des résultats obtenus les années précédentes (Figure 21) et restent assez homogènes, entre 0,07 et 0,30 Bq/kg frais avec une valeur moyenne de $0,14 \pm 0,05$ (1 écart-type), le maximum étant mesuré dans un espadon provenant de Maupiti (archipel de La Société).

Concentration du ¹³⁷Cs (Bq/kg frais)

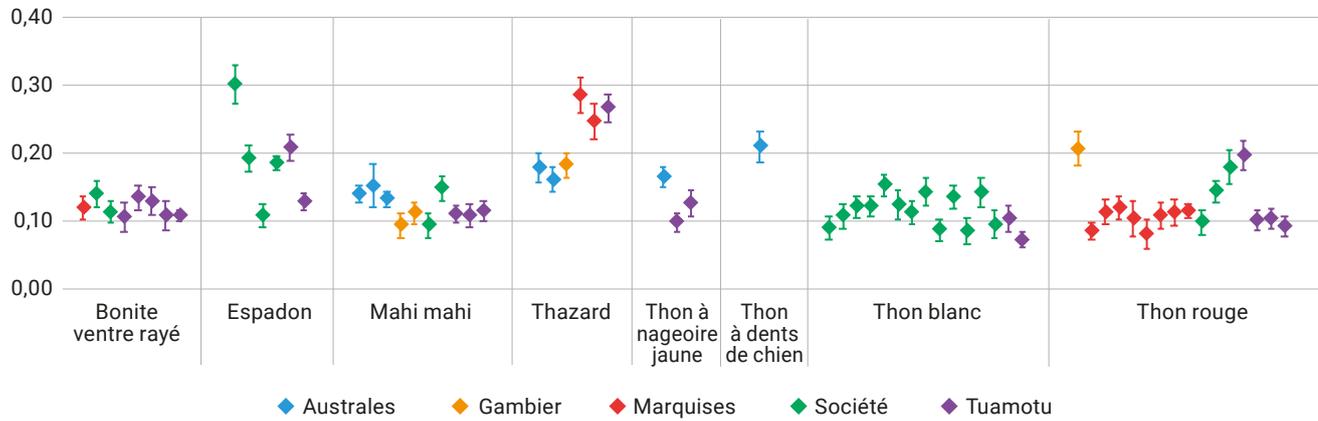


Figure 20. Concentration du ¹³⁷Cs en Bq/kg en poids frais dans les 65 échantillons de poissons pélagiques prélevés au voisinage des îles des cinq archipels de Polynésie française en 2019-2020.

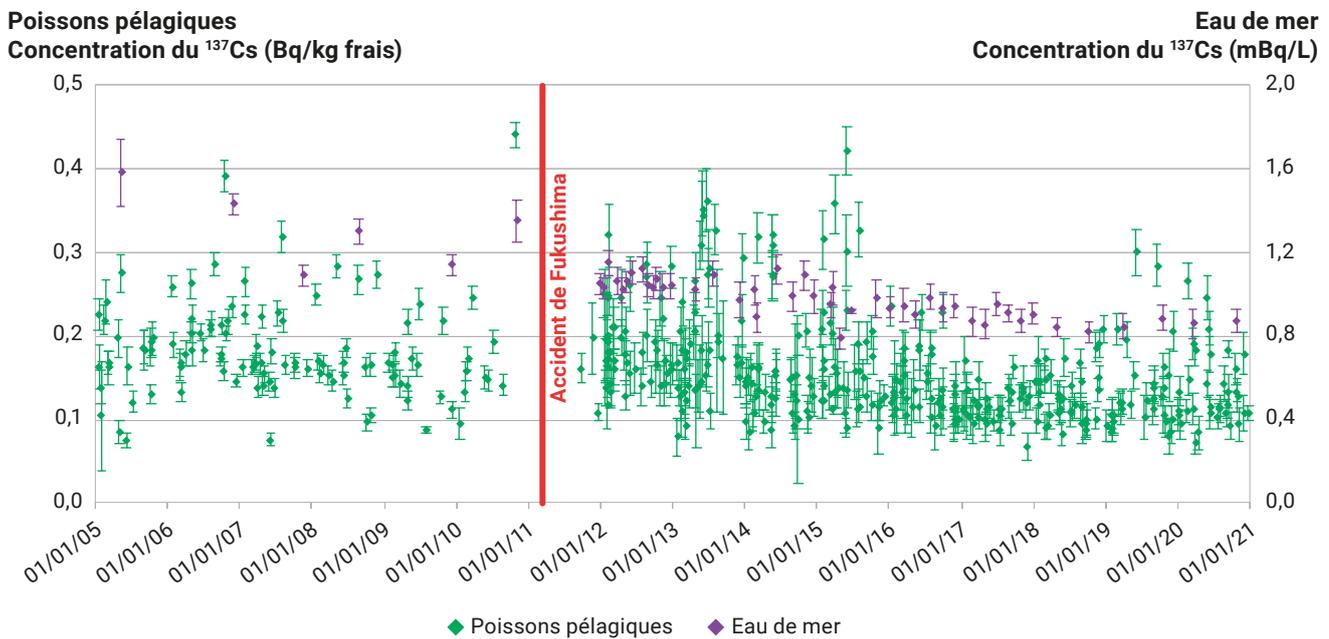


Figure 21. Concentrations en Bq/kg de poids frais du ¹³⁷Cs dans les poissons pélagiques, toutes espèces confondues, prélevés au voisinage des côtes polynésiennes (points verts) et concentrations en mBq/L du ¹³⁷Cs dans l'eau de mer océanique ou lagunaire de la ZEE de la Polynésie (points violets) avant et après l'accident de la centrale japonaise de Fukushima Daiichi.

Poissons de lagon, bénitiers et trocas

Vingt-sept échantillons ont été prélevés : treize échantillons de poissons de lagon (mérours, loches et lutjans), treize échantillons de bénitiers et un échantillon de trocas. Les concentrations du ^{137}Cs et du plutonium ($^{239+240}\text{Pu}$ et ^{238}Pu) sont très faibles, comme les années précédentes, quelle que soit la provenance (Tableaux AII-1 à AII-9 [IRSN, 2021a]).

- Le ^{137}Cs , rarement décelé dans les bénitiers analysés (1 fois sur 13 analyses avec une valeur de l'ordre de SD inférieure à 0,01 mBq/kg frais), et non décelé dans l'échantillon de trocas analysé, est encore quantifié dans les poissons de lagon à des concentrations inférieures à 0,32 Bq/kg frais.
- Le $^{239+240}\text{Pu}$ a été décelé dans la chair de l'un des sept échantillons de poissons de lagon analysés, à une valeur de l'ordre de SD (0,02 mBq/kg frais). Le ^{238}Pu n'a été détecté dans aucun des poissons. Le $^{239+240}\text{Pu}$ et le ^{238}Pu ont été quantifiés dans les six échantillons de bénitiers analysés, la valeur la plus élevée étant de 3,4 mBq/kg frais en $^{239+240}\text{Pu}$ pour un échantillon provenant de Mangareva (Gambier) ; les concentrations en ^{238}Pu sont environ dix fois inférieures.

Milieu terrestre

Les 205 échantillons analysés se répartissent en 27 échantillons de boissons (15 eaux de coco, 2 jus de fruit, 4 laits, 4 eaux commerciales et 2 eaux de ville), 70 de légumes (16 légumes feuilles, 27 légumes fruits et 27 légumes racines), 43 de fruits, 33 de viandes et de 20 plateaux-repas ainsi que 12 prélèvements relatifs à des produits d'importation (6 laits, 4 viandes et 2 riz).

Lait de vache

Le lait de vache a été mesuré par spectrométrie γ 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 pour la période 2019-2020 sont comprises entre 0,09 et 0,15 Bq/L (Tableau AII-9 [IRSN, 2021a]) ; elles sont légèrement supérieures à celles des laits entier et demi-écrémé importés de France métropolitaine et de Nouvelle-Zélande qui sont de l'ordre de 0,01 à 0,05 Bq/L (Tableau AII-11 [IRSN, 2021a]).

Concentration du ^{137}Cs (Bq/L) dans le lait

Dépôt annuel cumulé du ^{137}Cs (Bq/m²) corrigé de la décroissance

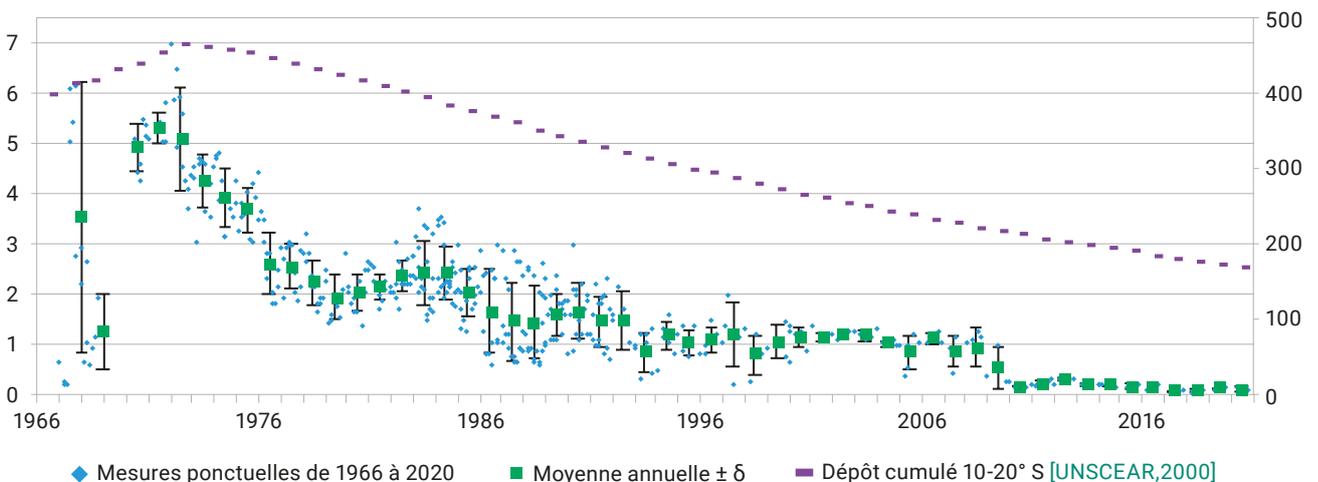


Figure 22. Évolution depuis 1966 de la concentration du ^{137}Cs (Bq/L) dans le lait produit à Tahiti et dépôt annuel cumulé du ^{137}Cs (Bq/m²) (en pointillé violet), corrigé de la décroissance radioactive, sur les sols dans la bande de latitude 10-20° S [UNSCEAR, 2000].

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 22 ;
- 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.

Boissons, fruits, légumes, viandes et produits importés

Les résultats de spectrométrie γ des 175 denrées (solides et liquides autres que le lait) et de spectrométrie α de 8 échantillons de coprah sont présentés dans les tableaux All-1 à All-11 [IRSN, 2021a].

- Le ^{137}Cs est quantifié dans près des trois quarts des échantillons (127/175) dont 52 valeurs inférieures à 0,10 Bq/kg frais et 13 sont supérieures à 1 Bq/kg frais. Les teneurs les plus élevées proviennent des viandes, et notamment de la viande de bœuf de Tahiti (valeur maximale de 10,6 Bq/kg frais mesurée en 2019) (Figure 23) sans évolution marquée à la baisse ou à la hausse durant les vingt dernières années (Figure 24). 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 cinq échantillons de coprah sur huit analysés sans excéder 0,05 mBq/kg frais et le ^{238}Pu n'a été décelé que dans un échantillon à une valeur inférieure à 0,03 mBq/kg frais, proche du SD.

Concentration du ^{137}Cs (Bq/kg frais)

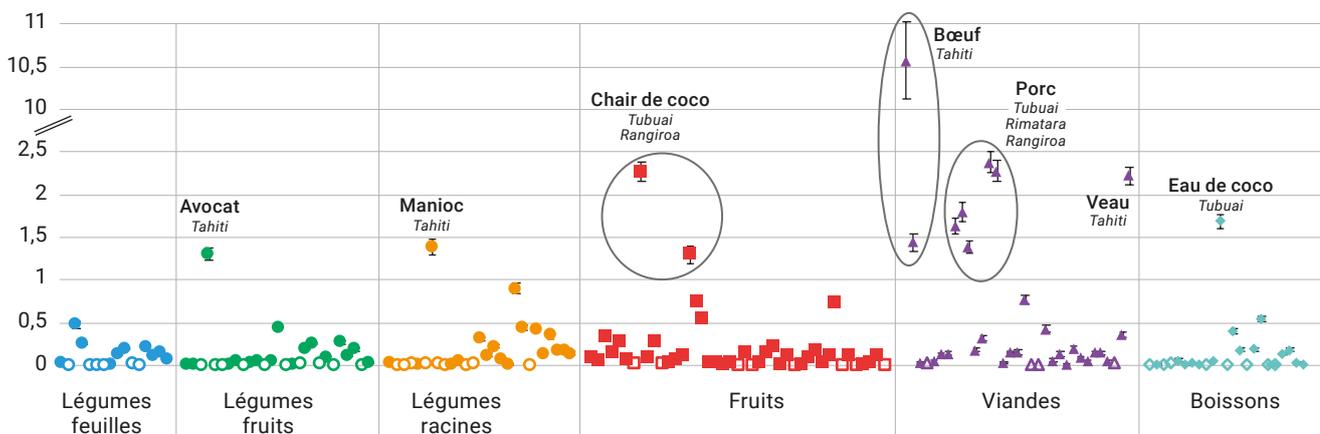


Figure 23. Concentration, en Bq/kg frais, du ^{137}Cs dans prélèvements locaux et régionaux de légumes, de fruits, de viandes et de boissons (excepté le lait) en 2019-2020.

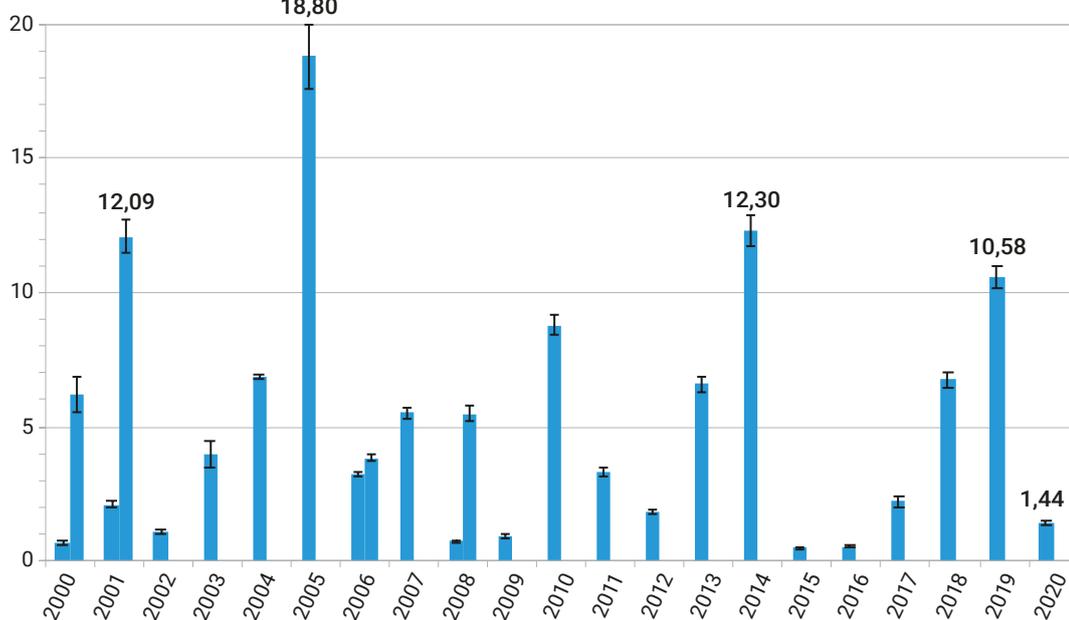
Concentration du ^{137}Cs (Bq/kg frais)

Figure 24. Concentration, en Bq/kg frais, du ^{137}Cs dans la viande de bœuf provenant de Tahiti entre 2000 et 2020.

Plateaux-repas et boissons

Les contenus et les quantités de chaque plateau-repas (exemple d'un échantillonnage en Figure 25) sont détaillés dans le rapport Annexes (Tableaux AIII-1, AIII-2, AIII-4 et AIII-5) ainsi que l'ensemble des résultats (Tableaux AII-12 à AII-14). Les résultats des analyses effectuées sur les boissons sont fournis dans le rapport Annexes (Tableaux AII-9, AII-11, AIII-15, AIII-16).

Les analyses réalisées sont précisées dans le Tableau 4. Les principaux radionucléides mesurés sont ceux présents dans l'environnement ; leurs teneurs sont environ 100 fois plus faibles dans les eaux de boissons que dans les autres denrées liquides ou solides. Le ^{40}K est systématiquement décelé dans tous les produits et le ^{14}C est important dans les denrées solides car le carbone élémentaire en est un constituant important (50 % en masse sèche). Les autres radionucléides d'origine naturelle sont à des teneurs plus faibles et ceux d'origine artificielle (^{137}Cs , isotopes du Pu et ^{90}Sr) sont à l'état de traces lorsqu'ils sont détectés (Figure 26). La différence des teneurs mesurées d'une année à l'autre illustre simplement la variabilité des quantités et des concentrations des différentes denrées constitutives de ces plateaux-repas. Ainsi la valeur obtenue en ^{137}Cs pour les plateaux-repas pour l'année 2019 est la plus faible de la période sur laquelle ces mesures sont effectuées (2016-2020) tandis que l'année 2019 est au contraire associée à la valeur en ^{137}Cs la plus élevée pour l'échantillonnage de viande de bœuf sur cette même période (Figure 24).



Figure 25. Contenu d'un plateau-repas servi en collectivité le midi.

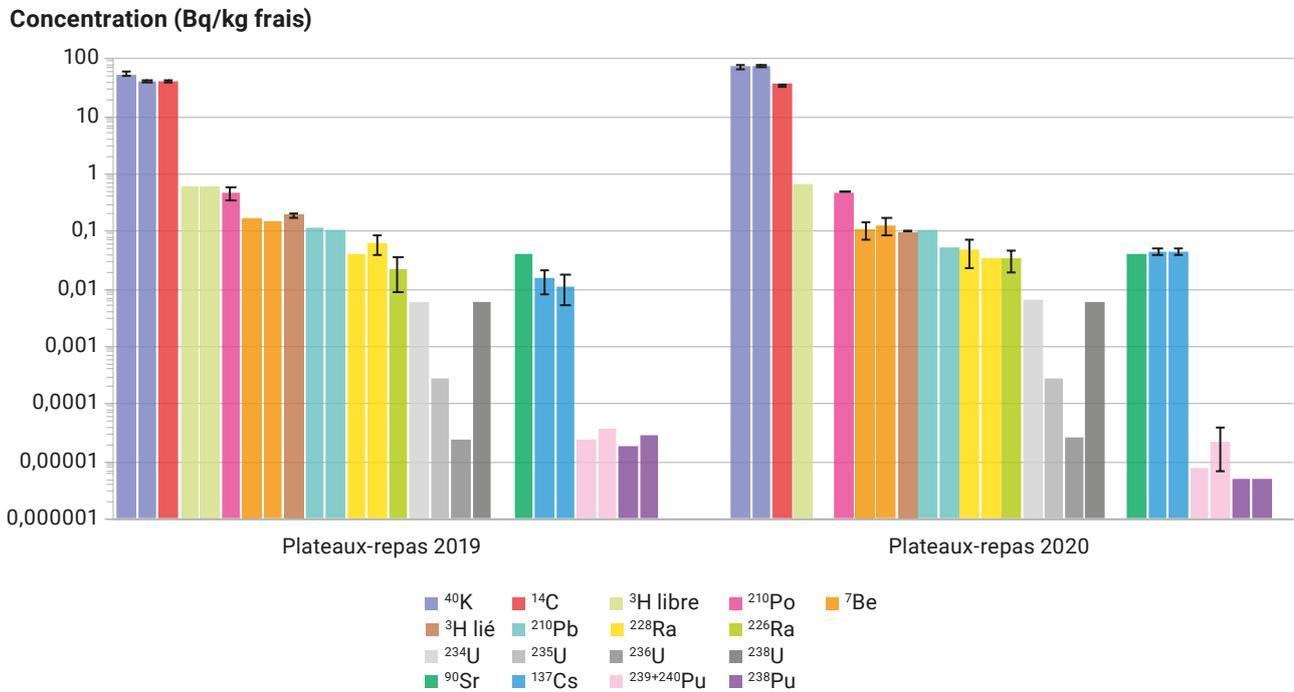


Figure 26. Concentration (Bq/kg frais) des radionucléides mesurés dans les denrées solides en 2019 et en 2020. Les résultats sans barres d'incertitudes correspondent à des seuils de décision (SD).

Tableau 4. Types d'analyses effectuées pour les plateaux-repas et les boissons en 2019-2020.

Technique d'analyse	Radionucléide	2019					
		Plateau-repas (5)		Boisson			
		Midi	Soir	Eau commerciale (3)	Eau de ville	Lait (5), eau de coco (1), jus d'ananas (1)	
Spectrométrie γ	^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{40}K , ^7Be , ^{228}Ra	•	•		•	•	
Spectrométrie α	^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$	•	•				
Scintillation liquide	^3H libre	•	•	•	•		
Émanométrie	^{226}Ra		•				
Spectrométrie α	^{210}Po		•	•			
ICPMS	^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U		•				
Comptage proportionnel	^{90}Sr		•				
AMS ou scintillation liquide	^{14}C		•				
Méthode ^3He	^3H organiquement lié		•				

(1) à (5) : nombre d'échantillons.

2020					
Plateau-repas (5)		Boisson			
Midi	Soir	Eau commerciale (4)	Eau de ville (1)	Lait (5), eau de coco (1), jus d'ananas (1)	
•	•	•	•	•	
•	•				
	•	•	•		
	•	•	•		
	•	•	•		
	•	•	•		
	•				
	•	•	•		
	•				

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 Sievert (Sv). Pour les expositions qui résultent de la radioactivité environnementale, on utilise des 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** a lieu lorsque l'individu se trouve exposé à des sources de rayonnements qui lui sont extérieures (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 et de la distance à la source. **L'exposition interne** résulte de la pénétration d'un radionucléide à l'intérieur de l'organisme, notamment par ingestion d'aliment ou par inhalation. L'exposition interne perdure au-delà du moment où a eu lieu l'incorporation ; elle décroît 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 et augmentant avec l'altitude.
- à la présence de radionucléides naturels présents dans les sols ; ce rayonnement dit tellurique est très variable en fonction de la nature des sols ;
- à l'ingestion de radionucléides naturels présents dans les aliments et l'eau ;
- à l'inhalation du radon, gaz rare radioactif qui provient de la désintégration de l'uranium présent dans l'écorce terrestre et dans les matériaux de construction en particulier.

À cette exposition liée à 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 françaises (retombées locales/régionales et stratosphériques) et dans le reste du monde (retombées mondiales stratosphériques) ;
- aux radionucléides présents dans l'alimentation et les boissons importées. Dans ce cas, il est possible de trouver des 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⁽⁹⁾ : en France métropolitaine, une personne reçoit en moyenne 1,5 mSv chaque année (IRSN, 2021b), 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.

(9) Comme pour le bilan sur l'exposition de la population de France métropolitaine (IRSN, 2021b), l'exposition médicale désigne l'usage des rayonnements ionisants à des fins diagnostiques. S'agissant des actes thérapeutiques de radiothérapie externe et interne, les expositions liées, ou associées, correspondent généralement à des fortes doses, délivrées localement pour soigner les pathologies concernées. Les patients ainsi traités constituent une fraction relativement peu nombreuse de la population générale et sont exposés dans un cadre très particulier. C'est pourquoi leur exposition n'est pas prise en compte dans le cadre de ce bilan.

5 2 ÉVALUATION 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 cosmique et tellurique). 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 γ encore décelable dans les sols), est inférieure à 1 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ pour l'île de Tahiti [Bouisset, 2007]. La présence de plutonium, de ^{241}Am et de ^{90}Sr ⁽¹⁰⁾ dans les sols ne contribue pas à l'exposition externe car ce sont des émetteurs α et β , et en partie γ 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 γ sur les filtres d'aérosols a été évaluée (Tableau 5) à partir de leurs concentrations moyennes annuelles (Chapitre 4.1). Ces évaluations ont été faites pour des adultes de plus de 17 ans respirant 22 m^3 d'air par jour, avec les coefficients de dose du journal officiel [J.O., 2003]. Il est important de noter que plusieurs autres radionucléides présents dans l'air en Polynésie ne sont pas mesurables par spectrométrie γ ; 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 l'américium 241 et du strontium 90. Dans le cas du radon, une campagne de mesure effectuée en 2020 dans les habitations de Tahiti 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) soit une exposition estimée à 0,17 mSv/an , (soit 170 $\mu\text{Sv}/\text{an}$) en retenant le facteur de dose préconisé par la publication n° 65 de la Commission internationale de protection radiologique [ICRP, 1993] et 0,46 mSv (460 $\mu\text{Sv}/\text{an}$) en retenant le facteur de dose de la plus récente publication n° 137 de cette commission [ICRP, 2017].

Tableau 5. Dose efficace engagée (μSv) en 2019 et en 2020 par l'inhalation des radionucléides mesurés par spectrométrie γ dans les aérosols de Tahiti.

	Radionucléide artificiel	Radionucléides naturels			Total
	^{137}Cs	^7Be	^{22}Na	^{210}Pb	
2019	$2,7 \cdot 10^{-6}$	0,0012	$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,60	0,60
2020	$2,7 \cdot 10^{-6}$	0,0013	$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,73	0,73

(10) 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 .

CONCENTRATION DU RADON DANS LES HABITATIONS À TAHITI

Le radon est omniprésent dans l'air et peut s'accumuler dans les endroits fermés et mal aérés. Dans l'air intérieur, le niveau de référence est de 300 Bq/m³ en valeur

moyenne annuelle, à partir duquel il convient d'abaisser les concentrations.

En 2020, la concentration de radon a été mesurée durant environ trois mois dans la pièce principale de dix habitations situées sur le pourtour de l'île de Tahiti. Les valeurs n'excèdent pas 10 Bq/m³ (comprises entre 4 et 9 Bq/m³) (Figure 27). Ces faibles concentrations sont dues à la faible teneur en uranium dans les sous-sols des secteurs côtiers où vit l'essentiel de la population dans des habitations très aérées.



Figure 27. Concentrations du radon en 2020 dans les habitations situées principalement en zone côtière de Tahiti.

Dose efficace annuelle liée à l'ingestion

Cette dose efficace est estimée à partir des résultats d'analyses d'une série de plateaux-repas pour l'ingestion des denrées solides, d'eaux et d'autres boissons (lait, eau de coco, jus d'ananas) pour l'ingestion des liquides prélevés à Tahiti⁽¹¹⁾. L'eau étant un produit ingéré en grande quantité, six prélèvements (quatre eaux commerciales et deux eaux distribuées par les communes) ont été effectués et nous avons considéré que la consommation était égale pour chacune d'entre elles. Sur la base des quantités échantillonnées, les denrées solides ingérées annuellement par un individu adulte en 2019 et en 2020 représentent respectivement 469 et 482 kg. Une quantité annuelle de 730 L est retenue pour l'eau de boisson à laquelle s'ajoutent 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 (Figure 28, Tableaux AIII-3 et AIII-6 [IRSN, 2021a]).

L'évaluation de la dose efficace annuelle est effectuée à partir des concentrations des différents radionucléides mesurés (Chapitre 4.2), exprimées en Bq/L pour les liquides et Bq/kg 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 $\mu\text{Sv/Bq}$ [J.O., 2003] pour les adultes de plus de 17 ans. Les analyses de certains radionucléides contribuant faiblement à la dose ou dont les teneurs varient peu d'une année sur l'autre n'ont pas été effectuées systématiquement en 2019, elles ont été considérées comme identiques à celles de 2020.



Figure 28. Denrées solides et liquides analysées.

Tableau 6. Répartition par radionucléide de la dose efficace engagée, en $\mu\text{Sv/an}$, en 2019 et en 2020 pour l'ingestion (aliments solides et boissons) par les adultes à Tahiti.

	Radioactivité artificielle			Radioactivité naturelle									Total
	¹³⁷ Cs	Pu*	⁹⁰ Sr	²¹⁰ Po	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb	²²⁸ Ra	²²⁶ Ra	¹⁴ C	U**	³ H***	⁷ Be	
2019	0,11	0,013	1,11	259	170	97	24	2,91	11	0,54	0,029	0,0049	566
2020	0,31	0,0035	1,10	272	170	55	22	4,50	10	0,57	0,031	0,0021	535

* Somme des doses dues aux 3 isotopes du plutonium (²³⁸, ²³⁹ et ²⁴⁰), toutes les valeurs mesurées sont des SD.

** Somme des doses dues aux 3 isotopes de l'uranium (²³⁴, ²³⁵ et ²³⁸).

*** Somme des doses dues aux ³H libre et organique.

(11) Les petits déjeuners ne sont pas inclus, hormis le lait et le jus d'ananas qui peuvent en être une part.

Les doses annuelles liées à l'ingestion de radionucléides artificiels sont respectivement en 2019 et en 2020 d'environ 1,2 µSv et 1,4 µSv ; elles sont dues principalement au ⁹⁰Sr (80-90 %) dont le calcul de dose est effectué avec une valeur majorante en activité correspondant à la limite de détection, soit deux fois la valeur du SD, et au ¹³⁷Cs (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 (≤ 1%). Parmi les principaux contributeurs à la dose par ingestion de radionucléides naturels (²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra, ¹⁴C et ²²⁶Ra), le calcul pour l'un d'entre eux (²¹⁰Pb) a été effectué en prenant une valeur majorante égale à la limite de détection, soit deux fois la valeur du SD. Enfin, les doses dues au ⁴⁰K ne dépendent pas des teneurs mesurées dans les aliments. En effet, le potassium est régulé par l'organisme (kaliémie) entraînant une teneur en ⁴⁰K de l'organisme humain constante et extrêmement peu variable d'un individu à l'autre ; cette teneur délivre une dose de 170 µSv/an. La dose efficace engagée par ingestion de radionucléides naturels et artificiels est ainsi estimée en 2019 à 0,57 mSv (566 µSv) et en 2020 à 0,54 mSv (535 µSv) (Tableau 6 et Figure 29).

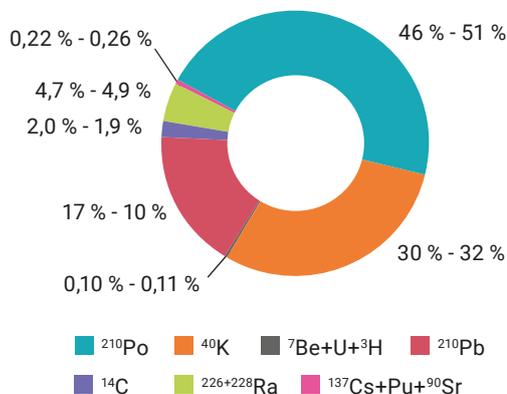


Figure 29. Répartition des différents radionucléides mesurés contribuant aux doses efficaces engagées en 2019 et 2020 relatives à l'ingestion (aliments solides et boissons) pour les adultes.

VARIABILITÉ DE LA CONCENTRATION DU POLONIUM 210 DANS LES BÉNITIERS

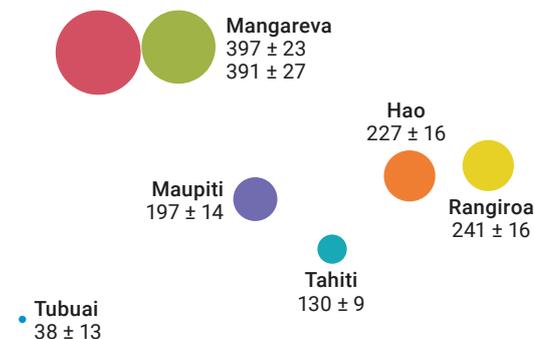
l'environnement. Ce radionucléide est souvent mesuré à des teneurs très variables qui peuvent atteindre près de 100 Bq/kg frais dans les produits marins consommés, et contribue ainsi de manière importante à la dose efficace par ingestion [IRSN, 2021b]. En Polynésie française, les concentrations du ²¹⁰Po dans la chair de bénitier varient d'un facteur dix dans les échantillons analysés en fonction de leur lieu de prélèvement (38 à 397 Bq/kg frais, deux échantillons ayant été mesurés pour vérifier les valeurs maximales de Mangareva – Gambier) (Figure 30 et Tableau AII-17 [IRSN, 2021a]).



Figure 30. Bénitier (*Tridacna maxima*, Pahu) et concentrations du ²¹⁰Po dans les échantillons prélevés dans six îles en 2019-2020.

Le polonium 210 (²¹⁰Po) est un radionucléide émetteur α faisant partie de la chaîne de désintégration de l'uranium 238, présent naturellement dans

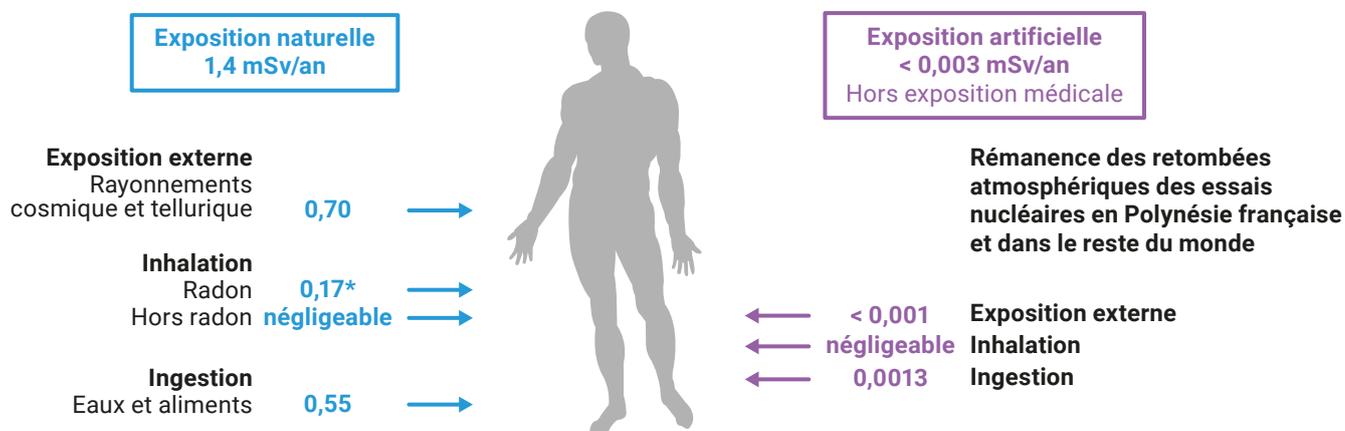
Concentration du ²¹⁰Po (Bq/kg frais)



Dose efficace annuelle totale

La dose efficace totale, somme des trois composantes, irradiation externe, inhalation et ingestion pour la population adulte vivant en 2019-2020 à Tahiti est proche de 1,4 mSv⁽¹²⁾ (Figure 31). Elle provient pratiquement à parts égales de l'exposition externe et de l'exposition interne due à l'ingestion des denrées et des boissons, l'exposition due à l'inhalation du radon représentant environ 10 % de la dose totale. 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 du radon recommandés à la date de publication de ce rapport [IRSN, 2021b].

À titre de comparaison, l'exposition médicale (à visée diagnostique) moyenne de la population française est estimée à 1,5 mSv/an.



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

Figure 31. Exposition moyenne aux rayonnements ionisants à Tahiti en 2019-2020 (hors exposition médicale).

(12) 0,46 en retenant le coefficient de dose de la publication n° 137 de l'ICRP (2017) qui n'a pas encore été adopté par la réglementation française à la date de publication de ce rapport.

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 elles (Hitiaa, Paea et Teahupoo) tandis qu'une ration alimentaire spécifique a été utilisée pour la commune de Papeete. À 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 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Dose efficace annuelle (μSv)

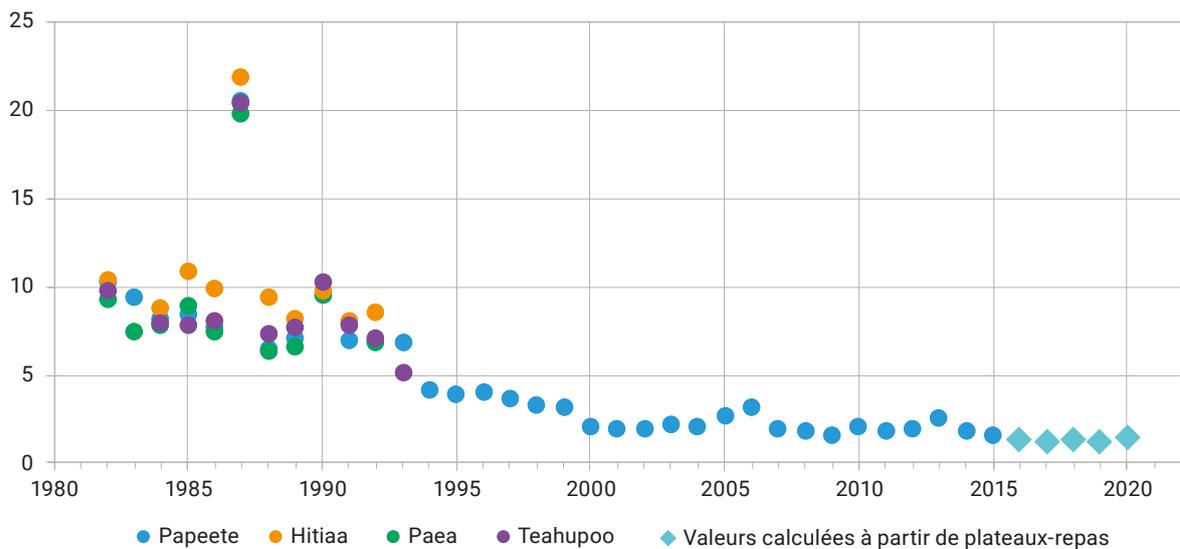


Figure 32. Évolution dans le temps de la dose efficace annuelle ajoutée par la radioactivité artificielle pour les adultes de Tahiti. Quatre communes étaient différenciées jusqu'en 1993. La contribution de la dose ingestion a été calculée entre 1982 et 2015 à partir de rations alimentaires et depuis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



Implantation de l'IRSN sur le centre Ifremer de Vairao.

6 CONCLUSION

En 2019-2020, l'IRSN a poursuivi la surveillance radiologique des sept îles, situées dans les cinq archipels de la Polynésie française et qu'il suit régulièrement depuis 1998, en intégrant deux autres îles, Rimatara (Archipel des Australes) et Fakarava (Archipel des Tuamotu). La crise du Covid n'a eu aucune conséquence sur ce suivi.

Trente-sept prélèvements ont été effectués dans les milieux (air, eaux et sols) et deux cent quatre-vingt-dix-sept pour les denrées alimentaires (poissons de haute mer, poissons et autres produits de lagon, légumes, fruits, viandes, lait, boissons diverses et plateaux-repas). Les mesures de radioactivité réalisées (spectrométrie γ et spectrométrie α) couvrent la quasi-totalité de la gamme des radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être décelés dans l'environnement étudié. Des analyses supplémentaires plus précises ont été effectuées pour établir les concentrations des radionucléides dans les denrées ingérées par la population, sous forme de plateaux-repas et diverses boissons, afin d'évaluer l'exposition aux rayonnements naturels et artificiels.

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 radiologique de la population.

— Résultats des mesures de radioactivité artificielle en 2019-2020 —

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.
- Treize résultats sont supérieurs à 1 Bq/kg frais pour les **denrées du domaine terrestre** : compris entre 1,3 et 11 Bq/kg frais pour les viandes de bœuf et de veau de Tahiti, la viande de porc de Tubuai, de Rangiroa et de Rimatara, la chair de coco séchée (coprah) de Rangiroa et de Tubuai et l'eau de coco de Tubuai.
- Il n'a pas été décelé dans les **eaux douces** (source et pluie) prélevée à Tahiti.

- Rarement décelé dans les **bénitiers**, et lorsque c'est le cas avec des valeurs proches des seuils de décision, il a été mesuré dans les **poissons** (haute mer et lagon) à des concentrations n'excédant pas 0,32 Bq/kg frais.
- 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.
- Les concentrations maximales dans les **sols** de Maupiti n'excèdent pas 1,5 Bq/kg sec, le double dans les sols de Huahine. Ces concentrations sont du même ordre de grandeur que les valeurs mesurées dans les autres îles hautes de Polynésie française (Raivavae, Hiva Oa, Nuku Hiva et Gambier).

On constate une baisse régulière au fil des ans de la concentration du ^{137}Cs dans tous les compartiments de l'environnement. Ce radionucléide étant associé exclusivement aux retombées atmosphériques des essais nucléaires, sa concentration diminue principalement par décroissance radioactive avec une période de 30 ans, soit une baisse annuelle de 2,3 %. Il reste actuellement environ 30 % de la quantité totale retombée.

■ Aucun autre radionucléide émetteur γ n'a été détecté dans les échantillons analysés.

■ Le plutonium a été recherché spécifiquement dans quelques denrées alimentaires.

Il a été détecté dans les six prélèvements de **bénitier**, avec une teneur maximale en $^{239+240}\text{Pu}$ à 3,4 mBq/kg frais pour un échantillon de Mangareva (Gambier), et dans un des sept prélèvements de **poisson de lagon**, dans cinq des huit prélèvements de **coprah** ainsi que dans un des **plateaux-repas** avec des teneurs de l'ordre du seuil de décision.

Inventaires dans les sols des îles hautes

Les résultats des inventaires de la radioactivité et les rapports des concentrations des radionucléides mesurés dans les sols de **Hiva Oa**, dans la gamme des valeurs évaluées pour les retombées globales, indiquent que ces dernières sont à l'origine de pratiquement l'ensemble du dépôt 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, la contribution en plutonium dans ces sols provient en grande partie des retombées locales.

Les résultats de radioactivité dans les sols de **Raiatea** indiquent que les retombées locales contribuent aussi aux dépôts, cependant la contribution majeure reste d'origine stratosphérique (globale).

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.

L'inventaire en ^{137}Cs dans les sols de **Huahine** est, comme celui de l'île voisine de Raiatea, excédentaire par rapport aux retombées globales alors que celui de **Maupiti**, à l'extrême ouest du même archipel, est compatible. Les mesures de plutonium et de ^{241}Am dans ces sols devraient permettre de vérifier si Maupiti est, comme Hiva Oa, uniquement affectée par des retombées globales et si une contribution des retombées locales est bien observée à Huahine.

Exposition des populations

L'exposition de la population aux rayonnements ionisants est quasi exclusivement d'origine naturelle. Le rayonnement cosmique, les radionucléides d'origine naturelle présents dans les sols et dans les denrées (principalement, ^{210}Po , ^{226}Ra et ^{14}C) et le radon dans l'air 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 participent pas du tout à l'exposition externe et très faiblement à l'exposition interne par ingestion d'aliments.

En 2019-2020, la dose efficace totale (exposition externe, exposition interne par ingestion et inhalation) est évaluée à 1,4 mSv en Polynésie française, deux fois plus faible qu'en métropole, hors exposition médicale.

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., Bernagout S., 2012.** *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2010 et suivi de l'impact de l'accident de Fukushima en Polynésie française et Nouvelle-Calédonie de mars à mai 2011.* Rapport DEI/SESURE 2011-40. p. 45.
- **Bouisset P., Nohl M., Bouville A., Leclerc G., 2018.** *Inventory and vertical distribution of ¹³⁷Cs, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu and ²³⁸Pu in soil from Raivavae and Hiva Oa, two French Polynesian islands in the southern hemisphere.* J. Environ. Radioact. 183. pp. 82-93.
- **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 atmospheric fallout in the Southern Hemisphere.* J. Environ. Radioact. 235-236, 106624. p.15
- **Chiappini R., Taillade J.M., Brébion S., 1996.** *Development of a high-sensitivity inductively coupled plasma mass spectrometer for actinide measurement in the femtogram range.* J. Anal. At. Spectrom. 11. pp 497-503.
- **Chiappini R., Pointurier F., Millies-Lacroix J-C., Lepetit G., Hemet P., 1999.** *²⁴⁰Pu/²³⁹Pu isotopic ratios and ²³⁹⁺²⁴⁰Pu total measurements in surface and deep waters around Mururoa and Fangataufa atolls compared with Rangiroa atoll (French Polynesia).* Total Environ. 237/238. pp. 269-276.
- **Everett S.E., Tims S.G., Hancock G.J., Bartley R., Fifield L. K., Wallner A., 2008.** *Comparison of Pu and ¹³⁷Cs as tracers of soil and sediment transport in a terrestrial environment.* J. Environ. Radioact. 99. pp. 383-393.
- **Hardy E-P., Krey P-W., Volchok 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 seawater of the South Pacific Ocean.* Total Environ. 381. pp. 243-255.
- **Hrnecek E., Steir P., Wallner A., 2005.** *Determination of plutonium in environmental samples by AMS and alpha spectrometry.* Appl. Rad. and Isotop. 63. pp. 633-638.
- **ICRP, 1993.** *Protection against radon-222 at home and at work.* ICRP Publication 65.
- **ICRP, 2017.** *Occupational intakes of radionuclides – Part 3.* ICRP Publication 137.
- **IRSN, 2011.** *Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement.* Rapport DEI/2011-041. p. 90.
- **IRSN, 2015.** *Exposition de la population française aux rayonnements ionisants.* Rapport IRSN/2015-00001. p. 22.
- **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/2018-0004. p. 40.
- **IRSN, 2020.** *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, 2021a.** *Surveillance de la radioactivité en Polynésie française – Annexes au bilan 2019-2020.* Rapport IRSN DG/2021-00870. p. 34.
- **IRSN, 2021b.** *Exposition de la population française aux rayonnements ionisants. Bilan 2014-2019.* Rapport IRSN/2021-00108. p.83.
- **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 58004.
- **J.O., 2017.** *Décret n° 2017-1681 du 13 décembre 2017 authentifiant les résultats du recensement de la population 2017 de Polynésie française.* Journal officiel de la République française.
- **Kelley J-M., Bond L-A., Beasley T-M., 1999.** *Global distribution of Pu isotopes and ²³⁷Np.* Total Environ. 237/238. pp. 483-500.
- **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. À l'épreuve des faits.* ISBN 2-11-096780-3. p. 474.
- **Tims S.G., Fifield L.K., Hancock G.J., Lal R.R., Hoo W.T., 2013.** *Plutonium isotope measurements from across continental Australian nuclear weapons test sites.* Instrum. Methods Phys. Res. B294, pp. 636-641.
- **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. 159-287.
- **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 neuf îles de Polynésie française du programme de surveillance radiologique 2019-2020.....	9
Figure 2. Laboratoires de mesure gamma et de radiochimie du LESE.....	10
Figure 3. Concentration en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ du ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Tahiti de janvier 1971 à décembre 2020.....	12
Figure 4. Concentration en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ du ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Orsay (Essonne) de janvier 1971 à décembre 2020.....	12
Figure 5. Concentration du ^{137}Cs en mBq/L dans l'eau de mer océanique ou lagunaire de la ZEE de la Polynésie française de 1983 à 2020.	13
Figure 6. Localisation des prélèvements d'eaux douces effectués à Tahiti depuis 2008 et des stations Météo France. Les hauteurs de pluie moyennes annuelles disponibles sur la période 1966-1975 sont indiquées pour chaque station (cercle noir).....	14
Figure 7. Nombre d'essais nucléaires atmosphériques effectués par les grandes puissances entre 1945 et 1980.....	14
Figure 8. A) Proportion et énergie (Mt) par site d'essais des retombées troposphériques. B) Répartition par puissance nucléaire des retombées stratosphériques dans l'hémisphère sud, exprimées en Mt d'énergie de fission.....	15
Figure 9. Dépôt annuel du ^{137}Cs dans l'hémisphère sud [UNSCEAR, 2000].	15
Figure 10. Position des îles dont les sols ont été échantillonnés entre 2015 et 2019 par rapport aux sites d'essais français de Moruroa et de Fangataufa et au site d'essais anglais des îles Malden.....	16
Figure 11. Prélèvement de sol et découpe en laboratoire d'une carotte par section.....	17
Figure 12. Localisation des sites de prélèvement des sols de Maupiti (16° S) en avril 2019 et de Huahine (17° S) en mai 2018.....	18
Figure 13. Concentration du ^{137}Cs en fonction de la profondeur (densité = 1) pour les sols des quatre sites de Huahine et des trois sites de Maupiti. Les courbes sont établies par un ajustement exponentiel au-delà d'une profondeur de quelques centimètres.	18
Figure 14. Localisation des sites de prélèvement des sols à Mangareva, Akamaru, Aukena et Taravai (îles des Gambier) en mai 2018. Le site Ga4 est un site remanié.....	19
Figure 15. Concentration moyenne du ^{137}Cs , du $^{239+240}\text{Pu}$, du ^{238}Pu et du ^{241}Am en fonction de la profondeur (densité = 1) dans les sols des six sites des Gambier analysés. Les courbes sont établies par un ajustement exponentiel au-delà d'une profondeur de quelques centimètres.	19
Figure 16. Inventaires en ^{137}Cs pour les sols des six îles et inventaires en ^{238}Pu et en $^{239+240}\text{Pu}$ pour Hiva Oa, Raiatea, Gambier et Raivavae. Les résultats sont placés en fonction de la latitude des îles dont les noms sont indiqués en bas de la figure. Les lignes horizontales correspondent aux valeurs de références des retombées globales dans les bandes de latitude $0-10^\circ \text{ S}$, $10-20^\circ \text{ S}$ et $20-30^\circ \text{ S}$, pour le ^{137}Cs [UNSCEAR, 2000] (segments de droite bleus), pour le $^{239+240}\text{Pu}$ (segments de droite orange) et pour le ^{238}Pu [Hardy, 1973] (segments de droite pointillés violets).	21
Figure 17. Rapport des inventaires d'activité $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$, $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ en fonction de la latitude des îles de Hiva Oa, Raiatea, Gambier et Raivavae comparés aux inventaires moyens des retombées globales de l'UNSCEAR (2000) pour le rapport $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$ (segment bleu) et pour le rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ (segment vert) ainsi que pour les retombées moyennes dans l'hémisphère sud [Hardy, 1973] pour le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ (segments orange).....	23
Figure 18. Rapport du nombre d'atomes ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) en fonction de l'activité mesurée en $^{239+240}\text{Pu}$ pour toutes les sections, jusqu'à 30 cm de profondeur, des sols des six sites des Gambier et de quelques sections pour tous les sites de Hiva Oa, de Raiatea et de Raivavae. Les signatures des retombées globales (GF) [Kelley, 1999] et des retombées locales (LF) [Chiappini, 1996,1999 ; Hrneckek, 2005], sont indiquées par les traits pointillés horizontaux.	23
Figure 19. Répartition des prélèvements locaux et régionaux des denrées alimentaires en 2019-2020.....	24
Figure 20. Concentration du ^{137}Cs en Bq/kg en poids frais dans les 65 échantillons de poissons pélagiques prélevés au voisinage des îles des cinq archipels de Polynésie française en 2019-2020.	25

Figure 21. Concentrations en Bq/kg de poids frais du ^{137}Cs dans les poissons pélagiques, toutes espèces confondues, prélevés au voisinage des côtes polynésiennes (points verts) et concentrations en mBq/L du ^{137}Cs dans l'eau de mer océanique ou lagunaire de la ZEE de la Polynésie (points violets) avant et après l'accident de la centrale japonaise de Fukushima Daiichi.	25
Figure 22. Évolution depuis 1966 de la concentration du ^{137}Cs (Bq/L) dans le lait produit à Tahiti et dépôt annuel cumulé du ^{137}Cs (Bq/m ²) (en pointillé violet), corrigé de la décroissance radioactive, sur les sols dans la bande de latitude 10-20° S [UNSCEAR, 2000].	26
Figure 23. Concentration, en Bq/kg frais, du ^{137}Cs dans prélèvements locaux et régionaux de légumes, de fruits, de viandes et de boissons (excepté le lait) en 2019-2020.	27
Figure 24. Concentration, en Bq/kg frais, du ^{137}Cs dans la viande de bœuf provenant de Tahiti entre 2000 et 2020.	28
Figure 25. Contenu d'un plateau-repas servi en collectivité le midi.	28
Figure 26. Concentration (Bq/kg frais) des radionucléides mesurés dans les denrées solides en 2019 et en 2020. Les résultats sans barres d'incertitudes correspondent à des seuils de décision (SD).....	29
Figure 27. Concentrations du radon en 2020 dans les habitations situées principalement en zone côtière de Tahiti.	34
Figure 28. Denrées solides et liquides analysées.	35
Figure 30. Bénitier (<i>Tridacna maxima</i> , Pahu) et concentrations du ^{210}Po dans les échantillons prélevés dans six îles en 2019-2020.	36
Figure 29. 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.	36
Figure 31. Exposition moyenne aux rayonnements ionisants à Tahiti en 2019-2020 (hors exposition médicale).	37
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.....	38

■ Tableaux

Tableau 1. 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 2018 à 2020.....	11
Tableau 2. Répartition en profondeur et médiane de l'activité du ^{137}Cs dans les sols des sites de Huahine et de Maupiti. 18	
Tableau 3. Répartition en profondeur et médiane des activités du ^{137}Cs , du $^{239+240}\text{Pu}$, du ^{238}Pu et de l' ^{241}Am dans les sols des six sites des Gambier. Les données pour le ^{137}Cs sont indiquées dans le bilan précédent [IRSN, 2020].	19
Tableau 4. Types d'analyses effectuées pour les plateaux-repas et les boissons en 2019-2020.	30
Tableau 5. Dose efficace engagée (μSv) en 2019 et en 2020 par l'inhalation des radionucléides mesurés par spectrométrie γ dans les aérosols de Tahiti.....	33
Tableau 6. Répartition par radionucléide de la dose efficace engagée, en $\mu\text{Sv}/\text{an}$, en 2019 et en 2020 pour l'ingestion (aliments solides et boissons) par les adultes à Tahiti.	35

■ Mots clés

Polynésie française, environnement, 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, L. Dor, R. Tamarii, G. Taputu et J.-C. Teunu, correspondants îliens 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

patrick.bouisset@mail.pf

E-mail

contact@irsn.fr

N° du rapport

IRSN/2021-00849

Tous droits réservés IRSN

Décembre 2021

Photo de couverture :

Hiva Oa (archipel des Marquises). © IRSN/LESE

Autres photos :

IRSN/LESE, DR.

Conception graphique :

Agence Kazoar

www.kazoar.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)