

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2017-2018

Synthèse des résultats du réseau  
de surveillance de l'IRSN



**ETSON**

EUROPEAN  
TECHNICAL SAFETY  
ORGANISATIONS  
NETWORK

# 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  
**1 700**  
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  
**280 M€**

## DES RÉSEAUX DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURE CONÇUS POUR UNE SURVEILLANCE RÉGULIÈRE

**L**a surveillance radiologique régulière de l'environnement faite par l'IRSN repose sur des réseaux de balises de télédétection et de stations de prélèvement des milieux, installés de manière permanente en des points particuliers du territoire, au plus proche des installations nucléaires ou en dehors de l'influence de celles-ci.

### Deux réseaux pour surveiller l'air

- **Le réseau Téléray**, constitué de sondes qui mesurent en continu le débit de dose ambiant dans l'air. Elles transmettent en temps réel leurs données à la salle de télésurveillance de l'IRSN. Dès qu'une augmentation anormale de radioactivité est détectée, une alarme est envoyée à l'IRSN et une investigation est menée.
- **Le réseau OPERA-Air**, qui est constitué de préleveurs d'aérosols fonctionnant en continu. Ils permettent d'obtenir une mesure précise, grâce à une analyse en laboratoire, des radionucléides fixés sur les aérosols présents dans l'air.

### Deux réseaux pour surveiller l'eau

- **Le réseau Hydrotéléray** mesure en continu la radioactivité des principaux fleuves français recevant les effluents des centrales nucléaires.
- **Le réseau des hydrocollecteurs** prélève en continu les eaux et les matières en suspension dans les cours d'eau situés généralement en aval des installations nucléaires.

### Un réseau pour surveiller les aliments

Avec l'aide des réseaux de préleveurs et des laboratoires de la direction générale de l'alimentation (DGAL) et de la direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), l'IRSN organise la collecte périodique et la mesure de denrées alimentaires pour en évaluer la radioactivité.

### Et les autres compartiments...

L'IRSN complète cette surveillance régulière par le prélèvement et l'analyse d'autres supports environnementaux de la radioactivité (sol, herbe, sédiment, mousse terrestre, mousse aquatique, algue...). Ils permettent l'établissement de chroniques précieuses dans l'optique d'une analyse temporelle des évolutions.

## UNE APPROCHE TERRITORIALISÉE...

En complément de sa surveillance régulière, l'IRSN réalise des études ponctuelles – appelées « constats radiologiques » – dont l'objectif est de dresser la synthèse des connaissances sur les niveaux de radioactivité à l'échelle d'une région, d'un territoire, d'un bassin versant... et, le cas échéant, de réaliser de nouvelles campagnes de prélèvements pour améliorer le niveau des connaissances. Ces campagnes permettent la mesure d'échantillons rarement analysés, de denrées présentant une valeur économique particulière pour le territoire ou de répondre à des attentes ou des questions particulières des parties prenantes (collectivités locales, associations de citoyens, commissions d'information...). Ces constats sont l'occasion pour le citoyen de mieux comprendre et de s'approprier une information par nature complexe et d'agir sur la nature même de la surveillance effectuée.

## RÉSUMÉ

**L**a 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 de Fangataufa, consiste à prélever régulièrement des échantillons de nature variée dans les différents milieux (atmosphérique, terrestre et marin) avec lesquels la population peut être en contact ainsi que des denrées alimentaires issues du milieu marin de pleine mer, du milieu marin lagunaire et du milieu terrestre. En 2017-2018, en plus des sept îles régulières de la surveillance, des denrées ont été collectées à Raiatea et à Huahine.

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 de la radioactivité aux plantes par voie racinaire. Les analyses sont principalement focalisées sur le  $^{137}\text{Cs}$ , radionucléide encore décelable dans plus d'un tiers des denrées analysées et dans les sols, ainsi que sur les isotopes 238, 239 et 240 du plutonium, peu décelables dans les denrées mais dont les concentrations dans les sols restent stables dans le temps (périodes radioactives longues). En 2017-2018, l'échantillonnage des sols a été effectué à Raiatea, à Huahine et dans les îles des Gambier. La finalité de cette étude est d'évaluer la rémanence dans les sols du  $^{137}\text{Cs}$  et du plutonium et d'en déterminer l'origine. Les inventaires de cette radioactivité dans les sols semblent indiquer que les retombées ont une composante régionale plus importante pour les îles de Raiatea et des Gambier que pour les îles de Hiva Oa et de Raivavae précédemment étudiées. D'autres analyses incluant la mesure des rapports isotopiques du plutonium 239 et 240 devraient permettre de compléter ces observations.

Les niveaux de radioactivité mesurés en 2017-2018 dans les différents milieux sont dans la continuité de ceux des années antérieures ; ils se situent à un niveau très bas. Cette radioactivité résiduelle est essentiellement attribuable au  $^{137}\text{Cs}$ . En 2017-2018, la dose efficace annuelle estimée pour les adultes de Tahiti, somme des doses associées à l'irradiation externe, à l'ingestion et à l'inhalation, est de l'ordre de  $1,4 \text{ mSv.an}^{-1}$ . Cette exposition résulte presque totalement du rayonnement cosmique et de la radioactivité naturelle. L'exposition due à la radioactivité artificielle ne représente en effet qu'une part très faible de la dose efficace totale de l'ordre de 0,1 %.

À la suite de la catastrophe de Fukushima en 2011, une surveillance radiologique renforcée de l'environnement a été mise en place et s'est poursuivie en 2017-2018 pour le milieu marin. Les mesures réalisées tout au long de l'année, pour l'eau de mer et pour diverses espèces de poissons pélagiques, ne montrent pas d'impact décelable de la contamination du domaine marin polynésien des retombées de cet accident : aucune augmentation des concentrations de  $^{137}\text{Cs}$  par rapport aux années passées n'a été observée et le  $^{134}\text{Cs}$  n'a jamais été décelé depuis 2011.

## ABSTRACT

**T**he radiological monitoring of the French environment carried out in Polynesia, outside the nuclear test sites of Moruroa and Fangataufa, by IRSN's Laboratory for the Study and Monitoring of the Environment (LESE) since 1962 consists in regular sampling of the atmospheric, terrestrial and marine environments as well as foodstuffs. In 2017-2018, foodstuffs were collected in nine islands (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva, Tubuai, Raiatea and Huahine) representing the five archipelagos.

The levels of radioactivity measured in 2017-2018 are in accordance with those measured the previous years; they are at a very low level. This residual radioactivity mainly comes from  $^{137}\text{Cs}$ .

In 2017-2018, the annual effective dose for the adults of Tahiti, including the doses associated with the external irradiation, the ingestion and the inhalation, added by the radioactivity of artificial origin which does not exceed 0.1% of the dose due to the natural exposure, is about 1.4 mSv/y mainly due to the cosmic radiation and the natural radioactivity.

After the Fukushima accident, enhanced radiological monitoring of the environment was organized and continued in 2017-2018 for the marine environment. The measurement results, for sea water and various pelagic fish species, do not show any impact of the accident on the Polynesian sea: no increase of  $^{137}\text{Cs}$  measurements compared to the levels measured the previous years was observed and  $^{134}\text{Cs}$  was never detected since 2011.

A new orientation of the monitoring program is implemented since 2014. It concerns the study of radioactivity of artificial origin in soils, the main route of transfer to food at present. The analyses are mainly aimed at assessing  $^{137}\text{Cs}$ , a radionuclide which can be still measured in more than one third of the analyzed food samples, and 238, 239 and 240 plutonium isotopes, scarcely detectable in food samples but remaining in soils at concentration levels quite steady over time (long time radioactivity periods and low leaching by rainwater).





Locaux de l'IRSN à Vairao sur le centre IFREMER.

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>6</b>
1.1	L'ANTENNE POLYNÉSIEENNE DE L'IRSN	6
1.2	PRÉSENTATION DU BILAN 2017-2018	7
<b>2</b>	<b>DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE ET DU MODE DE VIE DE SES HABITANTS</b>	<b>8</b>
	Les îles hautes	8
	Les atolls	9
<b>3</b>	<b>LOCALISATIONS ET PRÉLÈVEMENTS</b>	<b>10</b>
3.1	TYPES DE PRÉLÈVEMENTS ET FRÉQUENCE	10
	Domaine physique	10
	Domaine biologique	10
3.2	LIEUX DES PRÉLÈVEMENTS	11
<b>4</b>	<b>NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION</b>	<b>12</b>
4.1	CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS DU DOMAINE PHYSIQUE	13
	Radioactivité de l'air	13
	Radioactivité de l'eau	16
	Radioactivité dans les sols	16
4.2	CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES	27
	Milieu marin	28
	Milieu terrestre	30
<b>5</b>	<b>EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE</b>	<b>34</b>
5.1	SOURCES D'EXPOSITION	34
5.2	ÉVALUATION DES DOSES EFFICACES ANNUELLES EN POLYNÉSIE FRANÇAISE	33
	Dose efficace annuelle liée à l'exposition externe	35
	Dose efficace annuelle liée à l'inhalation	35
	Dose efficace annuelle liée à l'ingestion	36
	Dose efficace annuelle totale	37
<b>6</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>42</b>

# 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 des anciens sites d'expérimentations de Moruroa et de 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 essentiellement due à la rémanence des retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires en Polynésie française (retombées locales/régionales) et dans le reste du monde (retombées mondiales) –  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{237}\text{Np}$  et isotopes de l'uranium et du plutonium – à laquelle s'ajoutent les retombées en  $^{238}\text{Pu}$  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 trouvent dans les sols, sous forme de dépôt ou incorporés au substrat terrestre, certains d'entre eux contribuent alors à l'irradiation externe ;
- ils sont 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 régulières sélectionnées depuis 1998 pour être représentatives des cinq archipels de la Polynésie française ainsi que, chaque année depuis 2015, sur une île nouvelle différente de celle des années précédentes. 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 conduit le LESE à infléchir progressivement sa stratégie de surveillance, en réorientant son réseau de mesures à vocation initialement sanitaire vers un réseau qui doit permettre de mesurer aussi finement que possible les niveaux de radioactivité encore observables aujourd'hui dans l'environnement. La quantité d'échantillons biologiques analysés a été réduite par rapport aux années précédentes au profit d'une amélioration des seuils de sensibilité des mesures, d'analyses radiologiques de sols et de la réalisation de cartographies de débits de dose ambiants dans différentes îles.



# 1 2

## PRÉSENTATION DU BILAN 2017-2018

### Des expertises ponctuelles

En complément de cette surveillance pérenne, le LESE effectue des expertises ponctuelles pour le compte des autorités du Pays (direction de l'environnement, direction générale des affaires économiques...) ou pour le compte d'organismes de l'État ou d'entreprises privées comme par exemple pour le contrôle des anciens sites du CEP (Centre d'expérimentation du Pacifique) en cours de déconstruction.

### Appui aux pouvoirs publics en situation de crise

Le faible nombre d'installations nucléaires dans l'hémisphère sud, qui plus est éloignées des territoires français du Pacifique, rend très improbable une situation de crise radiologique. Cependant, même si un accident survenait dans l'hémisphère nord, sans transfert de la radioactivité par voie atmosphérique et par l'eau océanique, les échanges commerciaux et la migration des poissons nécessiteraient des mesures de contrôle. Ainsi, en mai 2011, l'IRSN a renforcé ses contrôles pour confirmer l'absence d'impact radiologique par voie atmosphérique en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie pendant plusieurs semaines après l'accident nucléaire au Japon. Depuis 2012, les prélèvements de poissons pélagiques ont été intensifiés sur l'ensemble de la ZEE (Zone économique exclusive) de la Polynésie française ainsi que sur l'eau de mer pour y déceler une éventuelle signature de l'accident.

Le présent rapport concerne le bilan de la surveillance radiologique pour les années 2017 et 2018 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 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 comme cela est précisé dans le chapitre 3. 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. Enfin, une évaluation de l'exposition de la population adulte aux radionucléides mesurés est présentée.

Une annexe à ce rapport [IRSN/DG, 2020], consultable sur le site internet de l'IRSN ([www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)), présente de façon exhaustive les résultats de 2017-2018.

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

**L**a Polynésie française, presque 3000 km d'est en ouest et 2000 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 3500 km<sup>2</sup>. 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 environ 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 (cas de la pluviométrie en particulier). Le climat des Marquises, des Tuamotu et de la Société est tropical humide alors que le climat des Australes et des Gambier est proche de celui des zones tempérées. Les températures chaudes, l'ensoleillement important et les précipitations modérées avec des contrastes saisonniers relativement faibles favorisent un mode de vie essentiellement à l'extérieur des habitations.

## ▬ Les îles hautes ▬

Ce sont des îles récentes pouvant culminer jusqu'à plus de 2000 m, avec parfois des vallées étroites et encaissées, et dont les barrières récifales sont quelquefois incomplètes (Tahiti) ou inexistantes (îles des Marquises). L'habitat est situé pour l'essentiel au niveau de la ceinture littorale. Les cultures maraîchères et fruitières de même que l'élevage y sont pratiqués ainsi que la pêche.

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

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



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 ;
- estimer un inventaire des dépôts surfaciques du  $^{137}\text{Cs}$  et du plutonium consécutifs aux retombées globales des essais nucléaires atmosphériques.

On distingue deux types de prélèvements : l'un dans le domaine physique, le second dans le domaine biologique.

### - Domaine physique \_

Il s'agit de prélèvements d'aérosols de l'air, d'eau de mer et d'eaux douces (pluie, rivière, source). Les fréquences des prélèvements ont été revues en 2010-2011 (Bouisset P., 2010) et sont depuis maintenues, à l'exception des prélèvements d'eau de source et d'eau de mer qui ont été modifiés au cours du temps. Les prélèvements d'aérosols sont mensuels ; les prélèvements d'eau de mer, bimestriels jusqu'en 2017, sont devenus semestriels en 2018 ; les prélèvements d'eau de pluie sont semestriels ; les prélèvements d'eau de rivière sont annuels ; et ceux d'eau de source sont bisannuels.

Depuis 2014, s'ajoutent des prélèvements de sols sur une à deux îles différentes chaque année.

### - Domaine biologique \_

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 quatre 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 LESE à adapter les plans de prélèvements. Les analyses réalisées ces dernières années montrent que, pour une proportion relativement importante d'échantillons, les teneurs en  $^{137}\text{Cs}$  ne sont plus quantifiables malgré l'utilisation des protocoles d'analyse les plus performants dans le domaine de la mesure des traces. Seules quelques denrées communes à plusieurs îles ont été conservées comme bioindicateurs dans les différents milieux afin d'observer l'évolution temporelle de la concentration en  $^{137}\text{Cs}$ . Quarante-quatre natures différentes de prélèvements ont été effectuées en 2017-2018.

Depuis 2016, des plateaux-repas (entrée, plat, fromage, dessert ou plat unique) ont été ajoutés aux plans de prélèvements. Une fois par an, la collecte des plateaux-repas est effectuée midi et soir à Tahiti durant cinq jours du lundi au vendredi.

## 3 2 LIEUX DES PRÉLÈVEMENTS

L'échantillonnage dans le domaine physique 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 l'ensemble du territoire. Les prélèvements de sols ont été effectués en 2017 à **Raiatea** (archipel de la Société) et en 2018 à Huahine (archipel de la Société) ainsi qu'à **Mangareva, Aukena, Akamaru et Taravai** (archipel des Gambier).

L'échantillonnage dans le domaine biologique 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 (J.O, 2017) ;

- prendre en compte la position des deux atolls de Moruroa et Fangataufa, supports des essais nucléaires atmosphériques français de 1966 à 1974 ;
- disposer, chaque année, de données récentes sur une nouvelle île.

Les sept îles régulières sont : les îles hautes de **Tahiti** et **Maupiti**, de l'archipel de la Société (Maupiti est retenue en plus de Tahiti car c'est l'île la plus à l'ouest de l'archipel), de **Mangareva** de l'archipel des Gambier, de **Tubuai** de l'archipel des Australes, de **Hiva Oa** de l'archipel des Marquises, ainsi que les atolls de **Rangiroa** et **Hao** de l'archipel des Tuamotu (Hao est retenue en plus de Rangiroa compte tenu de l'étendue de l'archipel, de sa population relativement importante et de sa plus grande proximité des sites d'essais).

Les îles supplémentaires retenues en 2017 et 2018 sont **Raiatea** et **Huahine**.

Les neuf îles retenues dans le programme de surveillance radiologique biologique en 2017-2018 sont indiquées sur la carte de la Figure 1.

Les échantillons biologiques de Tahiti, de Raiatea, de Huahine et de Tubuai ont été collectés par le personnel du laboratoire. Pour les autres îles, les collectes et les envois des échantillons ont été pris en charge par cinq correspondants permanents.

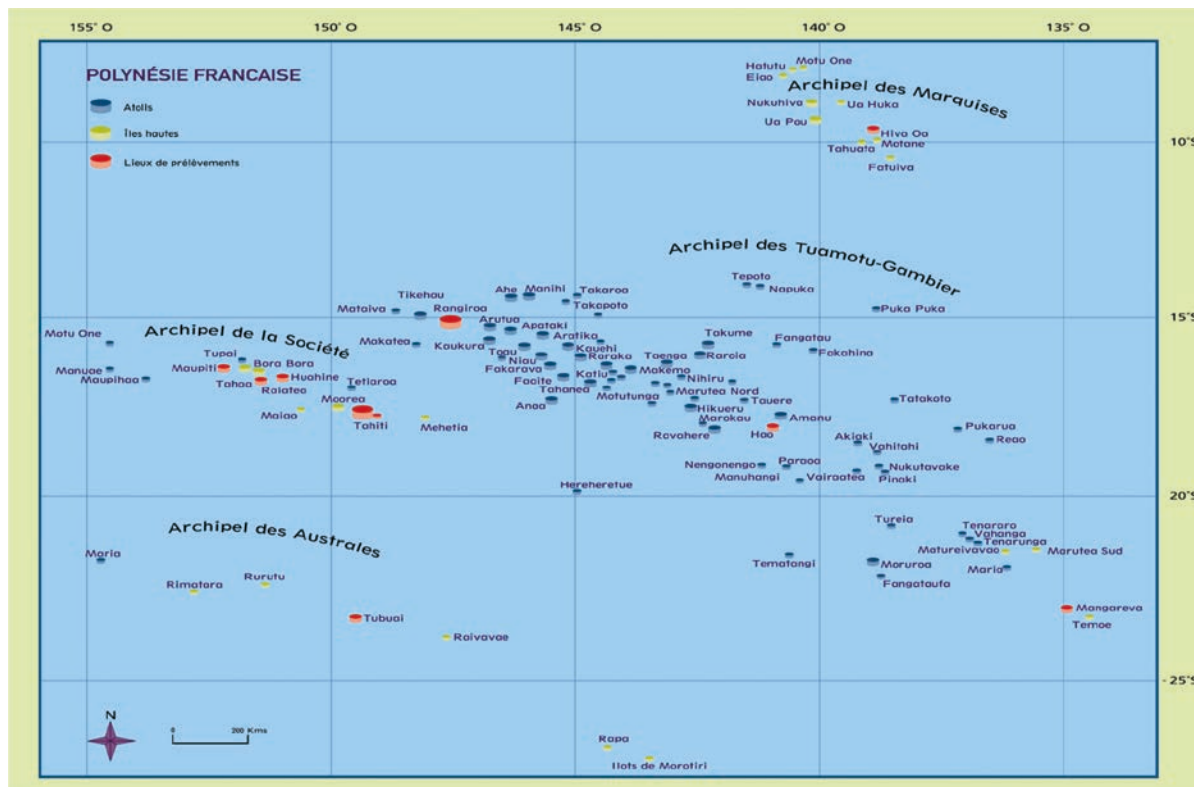


Figure 1. Position des neuf îles de Polynésie française retenues dans le programme de surveillance radiologique de 2017-2018.



# 4 NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION

**E**n 2017, le nombre total de prélèvements est de 195 :

- 179 échantillons, 21 pour le domaine physique et 158 pour le domaine biologique, prélevés dans les 8 îles ;
- 10 échantillons issus des plateaux-repas pour l'évaluation de la dose due à l'ingestion ;
- 6 prélèvements de sols pour la réalisation des inventaires de la radioactivité.

**En 2018, le nombre total de prélèvements est de 167 :**

- 146 échantillons, 18 pour le domaine physique et 128 pour le domaine biologique, prélevés dans les 8 îles ;
- 10 échantillons issus des plateaux-repas pour l'évaluation de la dose due à l'ingestion ;
- 11 prélèvements de sols pour la réalisation des inventaires de la radioactivité.

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

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

- des analyses  $\gamma$  des prélèvements d'aérosols effectuées par le laboratoire de l'IRSN d'Orsay dans l'Essonne [91] ;
- d'une partie des analyses des prélèvements de plateaux-repas et des eaux de boisson par les laboratoires de l'IRSN d'Orsay et du Vésinet complétant celles réalisées localement pour l'estimation de la dose par ingestion ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ , U isotopique,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ).

Depuis 2012, les analyses en  $^{90}\text{Sr}$  dans les denrées alimentaires ne sont plus réalisées car les derniers résultats obtenus en 2011 confirmaient les résultats des années précédentes, à savoir des valeurs inférieures aux niveaux décelables.

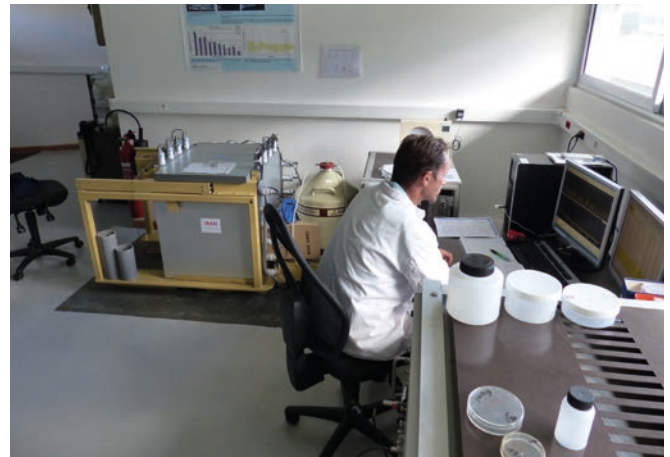


Figure 2. Laboratoires de mesure  $\gamma$  et de radiochimie.



## 4 1

## CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS DU DOMAINE PHYSIQUE

### Radioactivité de l'air

Le Tableau 1 présente les concentrations moyennes annuelles de 2016 à 2018 pour les cinq radionucléides mesurés par spectrométrie  $\gamma$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{40}\text{K}$  et  $^{210}\text{Pb}$ , 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/DG, 2020).

Le seul radionucléide artificiel émetteur  $\gamma$  encore détectable dans les aérosols en Polynésie française est le  $^{137}\text{Cs}$ . 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  $0,12 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $0,00000012 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) à Tahiti et les moyennes annuelles en 2017-2018 sont comparables à celles des années précédentes et du même ordre de grandeur que celles d'Orsay. Les évolutions de l'activité volumique du  $^{137}\text{Cs}$  dans l'air à Tahiti et à Orsay montrent des diminutions similaires, d'environ trois à quatre ordres de grandeur, entre 1971 et 2018 (Figure 3 et Figure 4) avec une variabilité plus élevée en métropole qu'à Tahiti.

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

**Tableau 1.** Concentrations moyennes annuelles ( $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) des  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{40}\text{K}$  et  $^{210}\text{Pb}$  dans les aérosols prélevés sur filtres à Tahiti et à Orsay (Essonne) de 2016 à 2018.

Radionucléides	Concentrations moyennes annuelles ( $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )					
	Tahiti (Vairao)			Métropole (Orsay 91)		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
<b>Artificiels</b>						
$^{137}\text{Cs}$	$0,06 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,04$
<b>Naturels</b>						
$^7\text{Be}$	$2\,980 \pm 800$	$3\,030 \pm 440$	$3\,180 \pm 460$	$2\,700 \pm 450$	$3\,010 \pm 440$	$3\,490 \pm 490$
$^{22}\text{Na}$	$0,28 \pm 0,12$	$0,20 \pm 0,05$	$0,22 \pm 0,06$	$0,26 \pm 0,08$	$0,27 \pm 0,07$	$0,33 \pm 0,09$
$^{40}\text{K}$	$7,2 \pm 2,4$	$10,0 \pm 1,7$	$9,9 \pm 1,7$	$7,9 \pm 1,7$	$4,9 \pm 1,1$	$5,7 \pm 1,3$
$^{210}\text{Pb}$	$87 \pm 24$	$74 \pm 11$	$70 \pm 11$	$295 \pm 49$	$324 \pm 49$	$357 \pm 51$

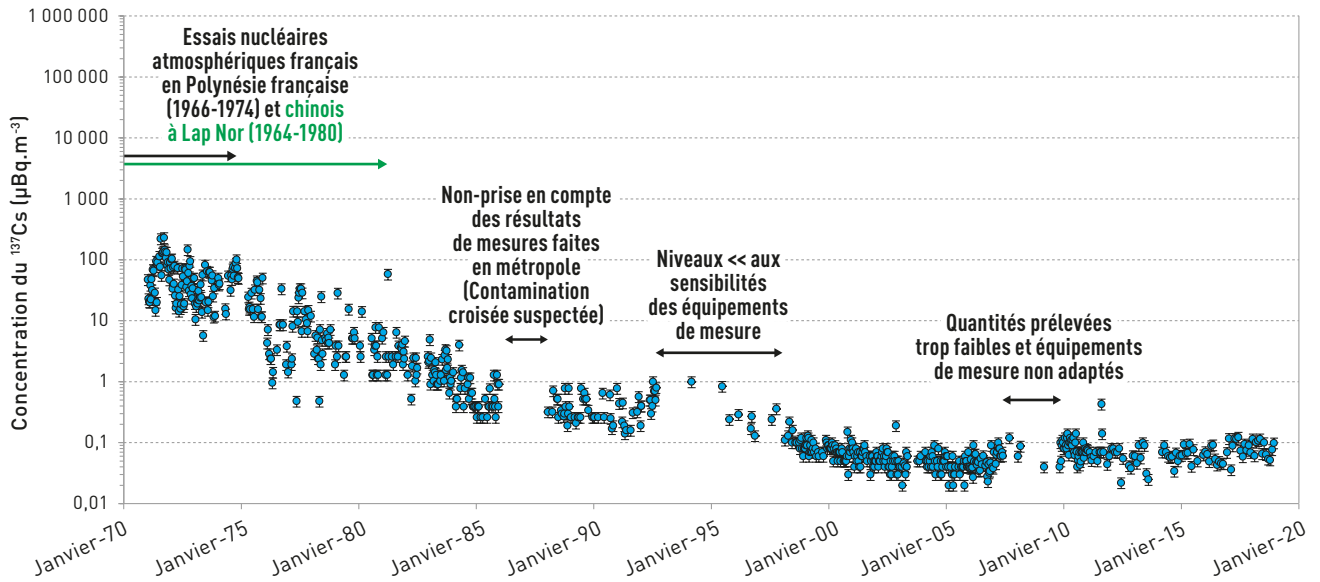


Figure 3. Concentration en  $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  du  $^{137}\text{Cs}$  dans les aérosols prélevés à Tahiti de janvier 1971 à décembre 2018.

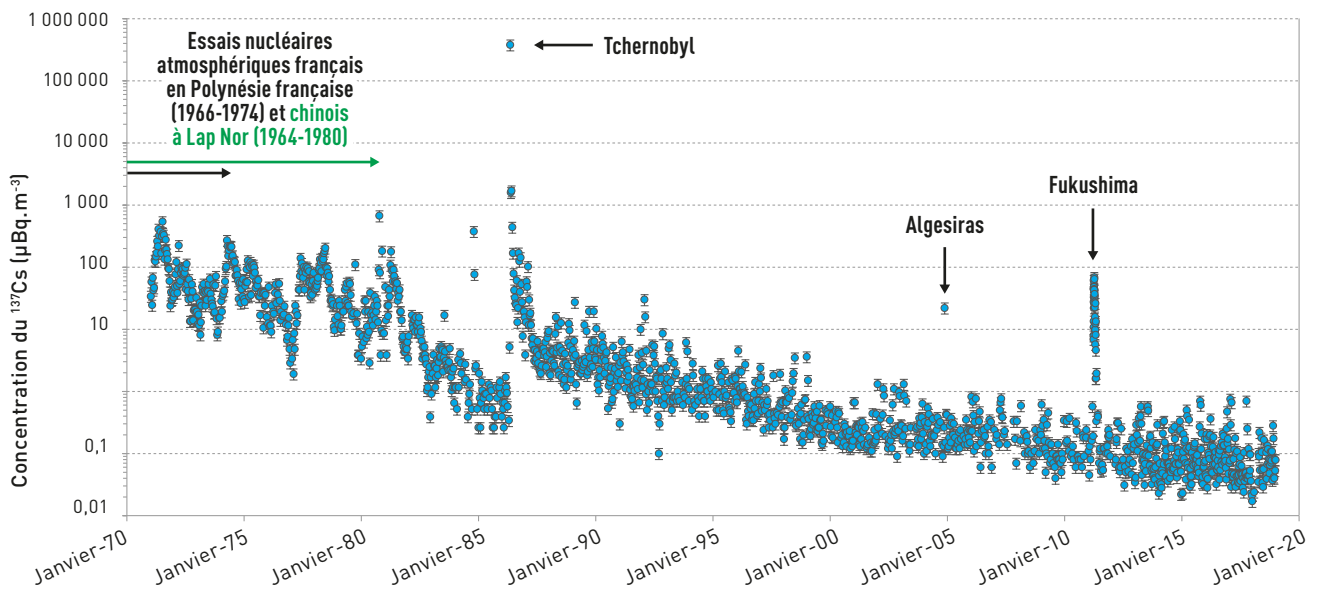


Figure 3. Concentration en  $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  du  $^{137}\text{Cs}$  dans les aérosols prélevés à Orsay (Essonne) de janvier 1971 à décembre 2018.

### NOUVELLE STATION AÉROSOL MISE EN SERVICE EN 2017 À TAHITI

Les prélèvements d'aérosols sont réalisés mensuellement à Tahiti par filtration de l'air en continu durant plusieurs jours. La mesure de la concentration du  $^{137}\text{Cs}$  dans l'air, inférieure à  $0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  nécessite

aujourd'hui de déployer les détecteurs les plus performants et d'augmenter les volumes prélevés.

C'est pourquoi, une station de prélèvement, deux fois plus performante que la précédente, avec un débit d'air filtré d'environ  $800 \text{ m}^3/\text{h}$ , a été mise en service début 2017 (Figure 5) afin de pouvoir mesurer ces très bas niveaux de radioactivité. Il existe neuf autres stations de prélèvement à haut débit en métropole.

Ainsi le volume moyen d'air filtré par échantillonnage est passé de  $76\,000 \text{ m}^3$  en 2015-2016 à  $145\,000 \text{ m}^3$  en 2017-2018 avec une durée du prélèvement, 8 à 15 jours, déterminée par le niveau de colmatage du filtre et non plus sur une durée forfaitaire de dix jours comme dans les années antérieures.



**Figure 5.** Prélèvement d'aérosols à Vairao (presqu'île de Tahiti) avec une station haut débit ( $800 \text{ m}^3/\text{h}$ ) en fonctionnement depuis 2017.

## Radioactivité de l'eau

### L'eau de mer

Les prélèvements d'eau de mer, 150 L à 200 L<sup>(1)</sup>, ont été effectués dans le lagon de Vairao à Tahiti tous les deux mois en 2017 et tous les six mois en 2018.

La baisse continue dans le temps de la concentration en <sup>137</sup>Cs est toujours observée (Figure 6) avec des valeurs moyennes à  $0,89 \pm 0,04$  mBq.L<sup>-1</sup> en 2017 et à  $0,83 \pm 0,02$  mBq.L<sup>-1</sup> en 2018 (Tableau AI-5 (IRSN/DG, 2020)).

### CHRONIQUE: CONCENTRATION DU <sup>137</sup>Cs DANS L'EAU DE MER DE LA ZEE (ZONE ECONOMIQUE EXCLUSIVE) DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE DE 1983 À 2018

L'évolution de la concentration du <sup>137</sup>Cs dans l'eau de mer depuis 1983 est représentée sur la Figure 6. Les données ont été obtenues pour des échantillons prélevés de 1983 à 2005 dans l'océan à 1,5 m ou 10 m de profondeur, au large de Hao, Rangiroa (Tuamotu) et Tahiti (Société) et de 2006 à 2018 dans le lagon de Tahiti

à 1,5 m 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 à partir de 2018. 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 <sup>137</sup>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 <sup>137</sup>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 <sup>137</sup>Cs mesurées dans l'eau de mer à l'échelle du Pacifique sud ces dernières années révèlent aussi une relative homogénéité [Yamada M., 2007] [Hirose K., 2007].

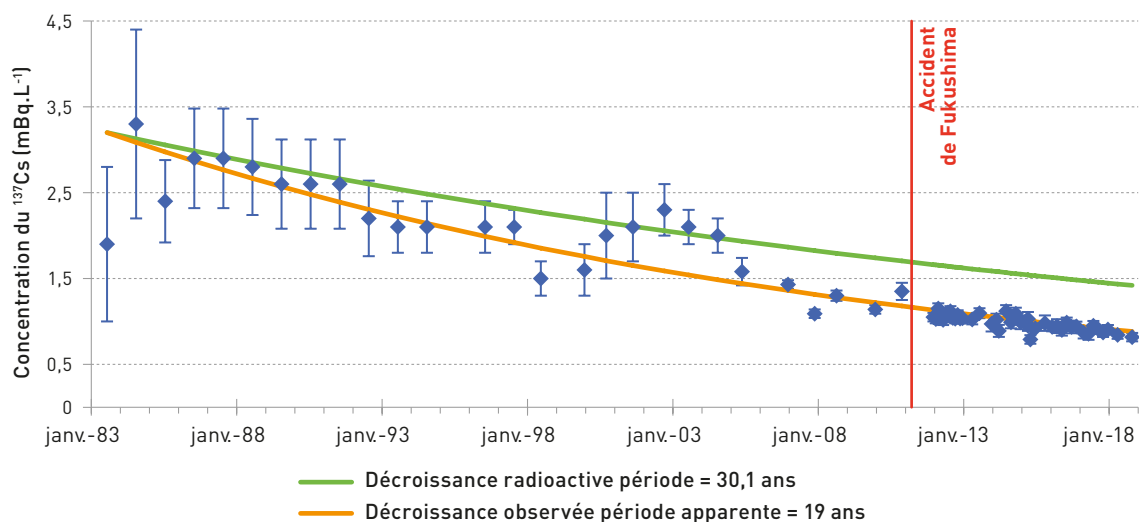


Figure 6. Concentration du <sup>137</sup>Cs en mBq.L<sup>-1</sup> dans l'eau de mer océanique ou lagunaire de la ZEE de la Polynésie française de 1983 à 2018.

(1) 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 des prélèvements depuis 2008 sont indiqués sur la Figure 8. Les prélèvements ont plus particulièrement concerné la côte est et la presqu'île car la pluviométrie, à l'origine d'une grande partie des dépôts radioactifs au sol par lessivage, y est généralement plus élevée<sup>[2]</sup>.

En 2017-2018, le  $^{137}\text{Cs}$  n'a été détecté ni dans l'eau de pluie, collectée en continu sur l'année à Vairao (presqu'île de Tahiti), ni dans les prélèvements ponctuels d'eau de source réalisés à Mataiea (côte sud de Tahiti) (Figure 7) et à Tautira (presqu'île de Tahiti). En revanche, il a été détecté dans l'eau de rivière prélevée en 2018 à Mahaena (côte est de Tahiti) à une valeur extrêmement faible de l'ordre du seuil de décision<sup>[3]</sup> (Tableau AI-5 (IRSN/DG, 2020)).

Les analyses par spectrométrie  $\gamma$  de grands volumes, 300 L à 400 L, des eaux de rivière ont permis de détecter la présence de  $^{137}\text{Cs}$  neuf fois sur dix au cours des dix dernières années. 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).



Figure 7. Prélèvement d'eau de source à Mataiea (côte sud de Tahiti) en 2018.

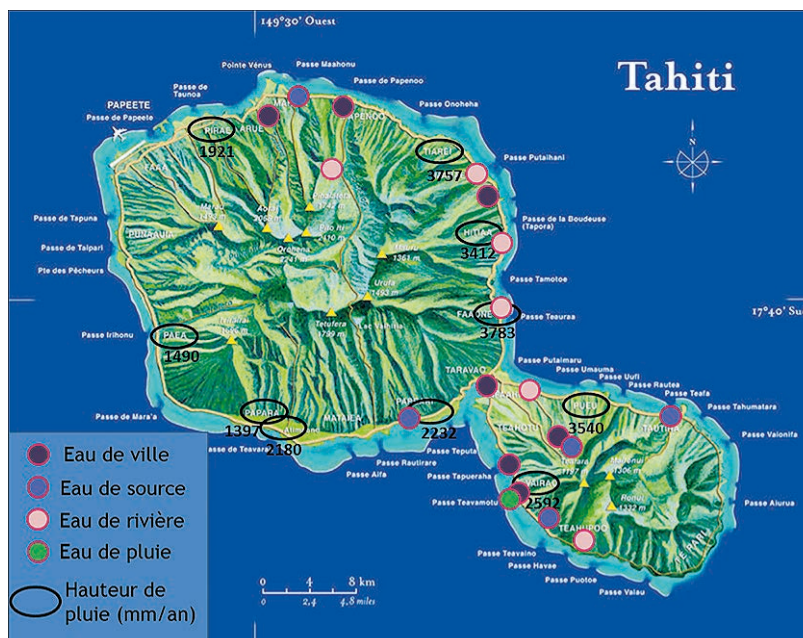


Figure 8. Localisation des prélèvements d'eaux douces effectués à Tahiti depuis 2008 et des stations Météo France. Les hauteurs de pluie moyennes annuelles disponibles sur la période 1966-1975 sont indiquées pour chaque station.

[2] Les hauteurs de pluie annuelles moyennes relevées par les stations Météo France entre 1966 et 1975 sont également présentées sur la Figure 8. 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.

[3] Le seuil de décision est la valeur minimale que doit avoir le résultat de la mesure d'un échantillon pour que le métrologue puisse « décider » qu'un radionucléide est présent ou non et que son activité est quantifiable. En dessous de cette valeur l'activité de l'échantillon est trop faible pour être estimée. Ce seuil de décision dépend de la performance et du rayonnement ambiant autour des moyens de mesure utilisés, de la radioactivité présente dans l'échantillon analysé et de la durée de la mesure.

## 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 9) sont à l'origine de la présence encore décelable dans les sols des produits de fission comme le  $^{137}\text{Cs}$  ainsi que de plusieurs isotopes du plutonium. Dans le cas de l'isotope 238 du plutonium, la majeure partie des retombées au sol dans l'hémisphère sud provient de la combustion en 1964 du réacteur du satellite américain SNAP-9A lors de sa rentrée dans l'atmosphère à 50 km d'altitude au-dessus de l'océan Indien [Hardy E-P., 1973]<sup>(4)</sup> alors que les isotopes 239 et 240 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.

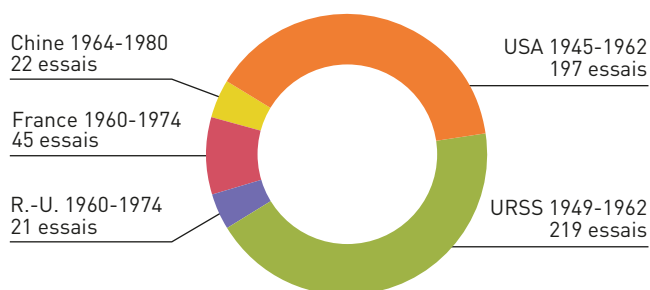


Figure 9. Nombre d'essais nucléaires atmosphériques effectués par les grandes puissances entre 1945 et 1980.

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 américano-britannique 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 B-G., 1978]. La Figure 10 synthétise la proportion par site d'essais des injections troposphériques dans l'hémisphère sud. La Figure 11 présente la répartition par puissance nucléaire des retombées stratosphériques, exprimées en Mt d'énergie de fission, dans l'hémisphère sud. Ainsi, on peut estimer qu'environ 10 % des produits de fission, dont les périodes sont supérieures à quelques années comme le  $^{137}\text{Cs}$ , 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  $^{137}\text{Cs}$  déposé dans l'hémisphère sud a été évaluée par l'UNSCEAR [UNSCEAR, 2000] à 213 PBq (1 PBq =  $10^{15}$  Bq) et à 706 PBq pour l'hémisphère nord, avec un dépôt annuel maximum pour l'année 1964 (Figure 12) 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 comme ce fût par exemple le cas lors des retombées directes de l'essai Centaure à Tahiti en 1974 où la pluviométrie plus intense sur la côte est (Figure 8) fut à l'origine d'un dépôt plus élevé que sur d'autres parties de l'île (ministère de la Défense, 2006).

(4) Le  $^{238}\text{Pu}$  s'est réparti inégalement entre les deux hémisphères, 20 % dans l'hémisphère nord et 80 %, soit 480 TBq (1 TBq =  $10^{12}$  Bq = 1 000 milliards de becquerels), dans l'hémisphère sud.



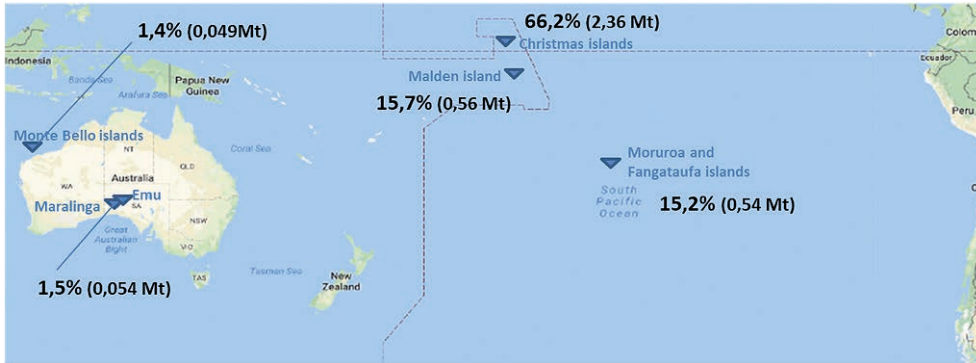


Figure 10. Proportion par site d'essais des injections troposphériques dans l'hémisphère sud.

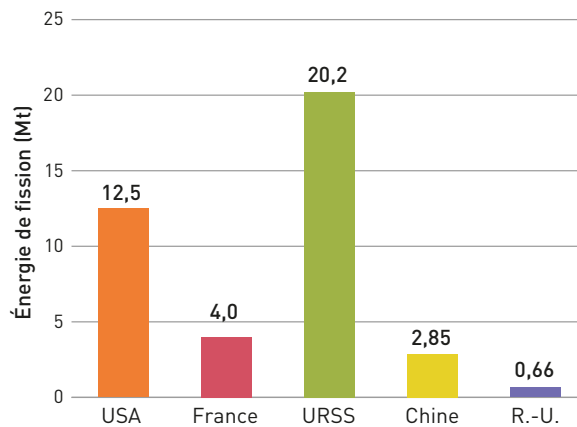


Figure 11. Répartition par puissance nucléaire des retombées stratosphériques, exprimées en Mt d'énergie de Fission, dans l'hémisphère sud.

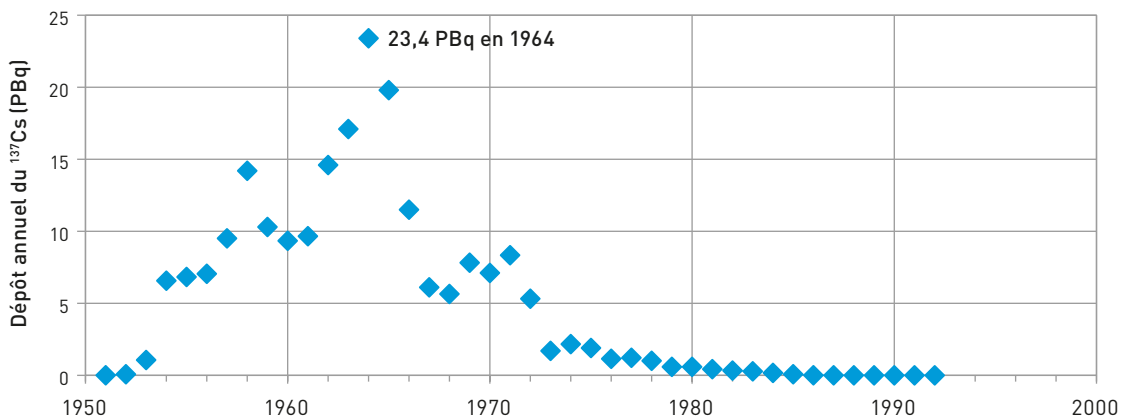


Figure 12. Dépôt annuel du <sup>137</sup>Cs dans l'hémisphère sud [UNSCEAR, 2000].

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

Aujourd'hui, le sol contient encore une fraction des retombées radioactives des essais nucléaires atmosphériques passés. 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 méthodes d'analyse concernées sont la spectrométrie  $\gamma$  bas bruit de fond pour la mesure du  $^{137}\text{Cs}$  et la spectrométrie  $\alpha$  pour les mesures de  $^{238}\text{Pu}$  et de  $^{239+240}\text{Pu}$ .

Les îles concernées par cette étude sont à ce jour situées dans les archipels des Australes (Raivavae) (IRSN/PRP-ENV, 2016), des Marquises (Hiva Oa et Nuku Hiva) (IRSN/DG, 2018), des Gambier (Mangareva, Akamaru, Aukena et Taravai) et de la Société (Raiatea et Huahine), à des distances comprises entre 425 km et 1450 km des sites d'essais français de Moruroa et de Fangataufa et entre 1460 et 3000 km du site d'essai du Royaume-Uni aux Malden (Figure 13).

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 en 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 14). 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 les racines et cailloux grossiers, afin d'obtenir un échantillon homogène dont les particules étaient inférieures à 0,2 mm.

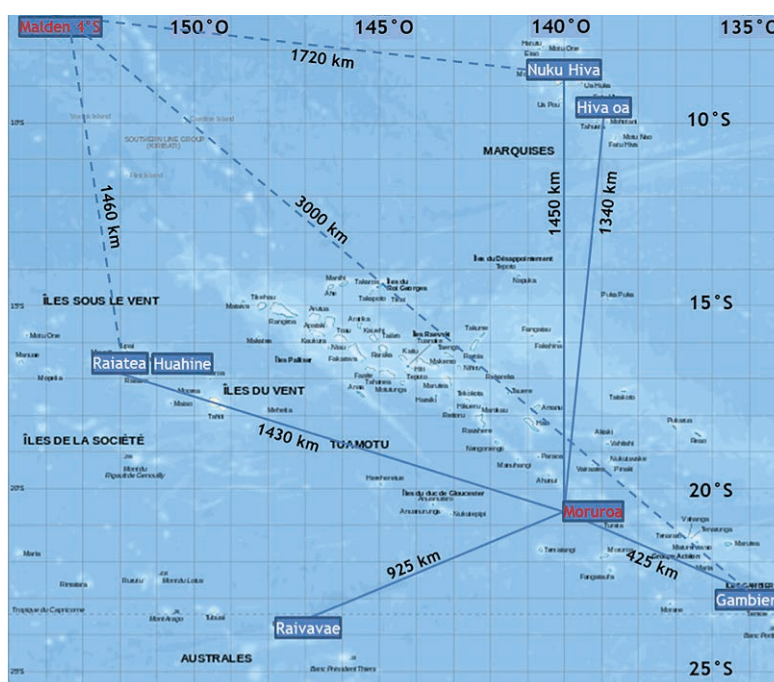


Figure 13. Position des îles dont les sols ont été échantillonnés entre 2015 et 2018 par rapport aux sites d'essais français à Moruroa et à Fangataufa (assimilés à la même position) et au site d'essais du Royaume-Uni aux Malden.



Figure 14. Prélèvement de sol et découpe en laboratoire d'une carotte par section.

Le  $^{137}\text{Cs}$  et les radionucléides d'origine naturelle émetteurs  $\gamma$  ( $^{40}\text{K}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ...) ont été mesurés sur les échantillons secs par spectrométrie  $\gamma$ . Une fraction des échantillons a été calcinée à  $550\text{ }^\circ\text{C}$  pour établir les taux de matière organique et mesurer, après une radiochimie séparative, les concentrations en plutonium.

En 2017-2018, les échantillonnages des sols ont été effectués sur six sites à Raiatea (Figure 15), sept sites pour les îles de Mangareva, Aukena, Akamaru et Taravai (Figure 17) et quatre sites à Huahine. Les caractéristiques des prélèvements et l'ensemble des résultats d'analyse, disponibles pour les radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine naturelle ainsi que le  $^{137}\text{Cs}$ , sont indiqués en annexe (Tableau AI-6 à AI-33 (IRSN/DG, 2020)). Pour l'établissement du présent rapport, les résultats disponibles pour le plutonium ne concernent que les sites de Raiatea. Les mesures  $\alpha$  et  $\gamma$  des échantillons de Huahine sont en cours ainsi que les mesures  $\alpha$  des échantillons des Gambier.

Les résultats des analyses réalisées montrent que trois sites de Raiatea et un site des Gambier ne peuvent pas être retenus dans le cadre de la présente étude notamment car ils présentent des caractéristiques de sols remaniés.

Les résultats obtenus, concernant trois sites à Raiatea et six sites aux Gambier, sont présentés page suivante.

## RAIATEA (ARCHIPEL DE LA SOCIÉTÉ)



Figure 15. Localisation des sites de prélèvement des sols à Raiatea (île de la Société) en octobre 2017.

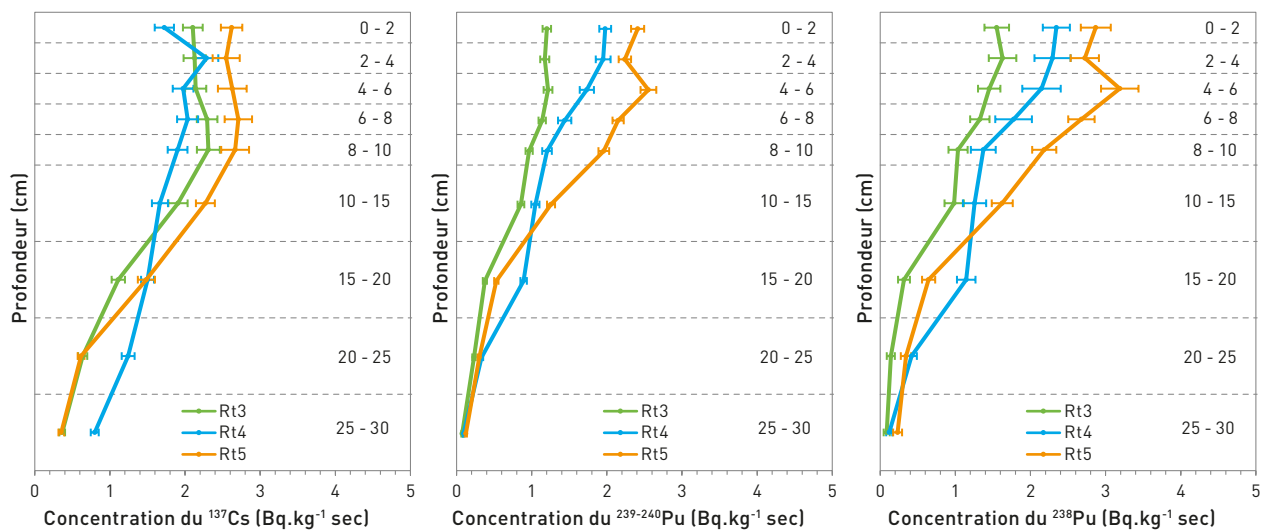


Figure 16. Concentration du  $^{137}\text{Cs}$ , du  $^{239+240}\text{Pu}$  et du  $^{238}\text{Pu}$  en  $\text{Bq.kg}^{-1} \text{sec}$  dans les sols en fonction de la profondeur pour les trois sites de Raiatea analysés.

Tableau 2. Répartition en profondeur et médiane de l'activité du  $^{137}\text{Cs}$  et du plutonium dans les sols des trois sites de Raiatea.

			Rt3			Rt4			Rt5		
			$^{137}\text{Cs}$	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{238}\text{Pu}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{238}\text{Pu}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{238}\text{Pu}$
Répartition de l'activité [%]	Expérimentale	0 – 30 cm	94	98	98	80	99	99	96	98	97
	Extrapolée	30 cm - ∞	6	2	2	20	1	1	4	2	3
Médiane de la répartition (cm)			10,2	8,3	7,3	15,3	8,1	8,2	9,9	7,3	7,4

MANGAREVA, AKAMARU, AUKENA ET TARAVAI (ARCHIPEL DES GAMBIER)



Figure 17. Localisation des sites de prélèvement des sols à Mangareva, Akamaru, Aukena et Taravai (îles des Gambier) en mai 2018.

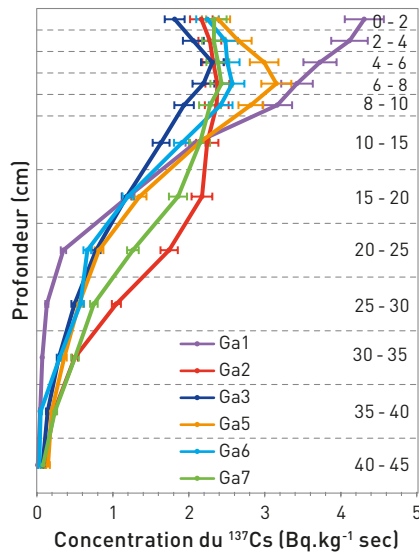


Figure 18. Concentration du <sup>137</sup>Cs en Bq.kg<sup>-1</sup> sec dans les sols en fonction de la profondeur pour les six sites des Gambier analysés (les analyses de Pu sont en cours à la date d'édition du présent rapport).

Tableau 3. Répartition en profondeur et médiane de l'activité du <sup>137</sup>Cs dans les sols des six sites des Gambier.

			Ga1	Ga2	Ga3	Ga5	Ga6	Ga7
Répartition de l'activité (%)	Expérimentale	0 - 30 cm	99,9	99,2	98,5	97,9	99,5	98,8
	Extrapolée	30 cm - ∞	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



## - Commentaires des principaux résultats d'analyse des sols \_

### Activités en césium-137

Dès la surface, ou plus souvent au-delà de quelques centimètres, la concentration du  $^{137}\text{Cs}$  diminue lorsque la profondeur augmente pour les sols de tous les sites non perturbés (Figure 16 et Figure 18). On peut noter qu'aujourd'hui plus de la moitié de l'activité du  $^{137}\text{Cs}$  présent dans les sols est encore située dans les 15 premiers centimètres de profondeur ; au-delà de 30 cm de profondeur cette activité n'excède pas 6 % pour Raiatea (Tableau 2) et 8 % pour les Gambier (moins de 2,1 % au-delà de 45 cm - Tableau 3).

Déposé au sol en grande partie (70 %) avant 1965, la vitesse de migration verticale du  $^{137}\text{Cs}$  dans le sol est de l'ordre de 2 à 4 mm/an pour l'ensemble des sols de ces sites, proche de la valeur moyenne de 2 mm/an évaluée pour les sols de Hiva Oa et de Raivavae [Bouisset P., 2018], et dans la gamme des valeurs rapportées pour les sols des régions tempérées de l'hémisphère nord [Kirchner G., 2009].

À titre de comparaison, les concentrations de  $^{137}\text{Cs}$  mesurées dans les dix premiers centimètres des sols métropolitains les plus touchés par les retombées de l'accident de Tchernobyl sont de l'ordre de dix à cent fois plus élevées.

### Activités en plutonium

Les teneurs en  $^{239+240}\text{Pu}$  dans les sols de Raiatea sont 5 à 15 fois plus faibles que celles en  $^{137}\text{Cs}$  sans excéder 0,6 Bq/kg sec et celles en  $^{238}\text{Pu}$  sont encore 10 fois plus faibles (Figure 16). La diminution de la teneur en plutonium en fonction de la profondeur est relativement semblable à celle du  $^{137}\text{Cs}$  (Tableau 2).

## - Estimation d'un inventaire des retombées en césium-137 et en plutonium \_

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

Afin de pouvoir comparer directement les résultats pour des échantillonnages de dates différentes, les activités sont ramenées à la date de mai 2018, corrigeant ainsi la décroissance du  $^{137}\text{Cs}$  et du  $^{238}\text{Pu}$  [5]. Les inventaires obtenus sont comparés aux estimations des activités surfaciques déposées lors des retombées des essais nucléaires calculées par l'UNSCEAR [UNSCEAR, 2000]. Il faut toutefois noter qu'une partie des radionucléides initialement déposés a pu ne pas être retenue dans les sols et donc ne pas être prise en compte dans ces inventaires.

Alors que l'intensité des retombées globales est principalement dépendante de la latitude [UNSCEAR, 2000], l'inventaire en  $^{137}\text{Cs}$  est plus élevé aux Gambier qu'à Raivavae (Tableau 4), bien qu'il s'agisse de deux îles hautes, situées à des latitudes proches (23° S et 24° S respectivement) ; de plus toutes deux présentent un climat tropical maritime où les taux de précipitations, répartis sur l'année, sont similaires. Si la valeur estimée de l'inventaire à Raivavae est en accord avec celle indiquée par l'UNSCEAR dans la bande de latitude 20-30° S, celle aux Gambier est 40 % plus élevée. Compte tenu de leur position sud-est et sud-ouest (par rapport aux sites d'expérimentation français) respectivement pour les Gambier et pour Raivavae, cet inventaire plus élevé aux Gambier pourrait provenir d'une plus forte intensité des retombées troposphériques et locales sur ces îles que sur Raivavae suite aux essais atmosphériques effectués à Moruroa et à Fangataufa. La différence avec les estimations de l'UNSCEAR s'explique par le fait que ce dernier ne prend en compte que les retombées globales.

Les inventaires en  $^{137}\text{Cs}$  et en plutonium (239+240 et 238) plus élevés à Raiatea qu'à Hiva Oa pourraient rendre compte d'une intensité des retombées radioactives plus importante sur cette île de la Société que sur les îles des deux autres archipels (Marquises et Australes).

[5] La correction de décroissance pour chaque année écoulée est de 2,3 % pour le  $^{137}\text{Cs}$  et de 0,08 % pour le  $^{238}\text{Pu}$ . Ainsi la comparaison des résultats pour des échantillons prélevés en 2015 par rapport à ceux de 2018 nécessite une réduction de 6,9 % pour l'activité du  $^{137}\text{Cs}$  et de 0,24 % pour celle du  $^{238}\text{Pu}$ . Compte tenu de leurs périodes longues, aucune correction n'est à apporter sur les activités des isotopes 239 et 240 du plutonium ( $^{137}\text{Cs}$  T = 30,1 ans,  $^{238}\text{Pu}$  T = 88 ans,  $^{239}\text{Pu}$  T = 24 000 ans,  $^{240}\text{Pu}$  T = 6 600 ans).



Les inventaires du  $^{137}\text{Cs}$  et du plutonium ( $^{239+240}\text{Pu}$  et  $^{238}\text{Pu}$ ) dans les sols de Hiva Oa (archipel des Marquises) et de Raivavae (archipel des Australes) sont dans la gamme des valeurs mesurées aux latitudes correspondantes pour l'ensemble de l'hémisphère sud. Par contre, le rapport d'activité  $^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$  ( $16,8 \pm 1,8$  à Hiva Oa,  $9,0 \pm 1,0$  à Raiatea et  $14,4 \pm 2,8$  à Raivavae) est plus faible que le rapport des retombées mondiales dans l'hémisphère sud évalué à environ 21,3 en 2018 [Bouisset P., 2018].

On peut aussi noter par ailleurs que le rapport moyen d'activité  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  à Raiatea est de  $0,12 \pm 0,02$ , proche des valeurs mesurées par l'IRSN à Hiva Oa et à Raivavae [Bouisset P., 2018]. Compte tenu des incertitudes relatives à ces estimations, ces rapports (Tableau 4) restent dans la gamme de ceux évalués pour des bandes de latitude entre  $10^\circ$  et  $20^\circ$  en 1970 [Hardy E-P., 1973] en tenant compte des activités résiduelles retombées après 1970 [Bouisset P., 2018].

## Perspectives

Les mesures de plutonium par spectrométrie  $\alpha$  et par spectrométrie de masse pour les sols des Gambier, en cours à la date de réalisation du présent rapport et à venir pour d'autres îles de la Société, permettront de mieux apprécier la contribution des essais atmosphériques français aux retombées globales estimées par l'UNSCEAR.

**Tableau 4.** Rapports d'activités et inventaires du  $^{137}\text{Cs}$  et du plutonium en 2018 dans les sols de Raiatea, des Gambier, de Hiva Oa et de Raivavae et valeurs de références dans les bandes de latitude  $0-10^\circ$  S,  $10-20^\circ$  S et  $20-30^\circ$  S

Localisation		Hémisph. sud	Hiva Oa <sup>a</sup>	Hémisph. sud	Raiatea	Gambier	Raivavae <sup>a</sup>	Hémisph. sud
Nombre de sites		4	4	6	3	6	4	7
Latitude sud		$0^\circ - 10^\circ$	$10^\circ$	$10^\circ - 20^\circ$	$17^\circ$	$23^\circ$	$24^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$
Inventaire 2018 [Bq/m <sup>2</sup> ]	$^{137}\text{Cs}$	203 <sup>b</sup>	$223 \pm 19$	177 <sup>b</sup>	$410 \pm 22$	$507 \pm 28$	$297 \pm 34$	298 <sup>b</sup>
	$^{239+240}\text{Pu}$	$12,6 \pm 8,4^c$	$13,3 \pm 0,3$	$7,6 \pm 2,1^c$	$45,3 \pm 2,2$	-	$20,6 \pm 1,5$	$16,4 \pm 6,7^c$
	$^{238}\text{Pu}$	$0,47 \pm 0,34^c$	$1,3 \pm 0,6$	$1,07 \pm 0,59^c$	$5,4 \pm 1,6$	-	$1,5 \pm 0,5$	$2,13 \pm 0,98^c$
Rapport d'activité 2018	$^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$	$0,037 \pm 0,050^c$	$0,10 \pm 0,05$	$0,14 \pm 0,12^c$	$0,12 \pm 0,02$	-	$0,074 \pm 0,031$	$0,13 \pm 0,13^c$
	$^{137}\text{Cs}/^{239+240}\text{Pu}$	$(9,7 - 48,3)^{b,c}$	$16,8 \pm 1,8$	$(18,2 - 32,3)^{b,c}$	$9,0 \pm 1,0$	-	$14,4 \pm 2,8$	$(12,9 - 30,7)^{b,c}$

<sup>a</sup> [Bouisset P., 2018].

<sup>b</sup> [UNSCEAR, 2000].

<sup>c</sup> [Hardy E-P., 1973].

## PARTICULARITÉ RADIOLOGIQUE NATURELLE DANS LE SOL D'UN SITE À HIVA OA (ARCHIPEL DES MARQUISES)

et des radionucléides des chaînes de désintégration de l'uranium-238 ( $^{238}\text{U}$ ), de l'uranium-235 ( $^{235}\text{U}$ ) et du thorium-232 ( $^{232}\text{Th}$ ). En général, jusqu'aux isotopes du radium, les activités massiques des radionucléides de chaque chaîne sont assez proches dans les sols et déterminées par celles de leurs têtes de chaîne respectives ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  et  $^{232}\text{Th}$ ) ; c'est ce que l'on appelle l'équilibre séculaire.

Les résultats des mesures de spectrométrie  $\gamma$  pour un sol de Hiva Oa indiquent une rupture de cet équilibre avec une activité en  $^{226}\text{Ra}$  nettement supérieure à celles de ses précurseurs, notamment le thorium-234, sur plusieurs centimètres de profondeur (Figure 19). Les activités massiques du  $^{214}\text{Pb}$ , également supérieures à celles du  $^{234}\text{Th}$ , résultent de celles du  $^{226}\text{Ra}$  dont il est le descendant.

Une série de prélèvements supplémentaires de cinq carottages répartis sur une centaine de mètres carrés a été programmée sur le même site afin de vérifier si l'observation du déséquilibre concerne une zone étendue ou pas et de compléter l'analyse radiologique par quelques mesures isotopiques du thorium. La composition chimique de ces sols sera également déterminée afin d'identifier si une particularité de nature géochimique des sols pourrait contribuer à expliquer cette observation, par ailleurs sans conséquence sur l'exposition de la population.

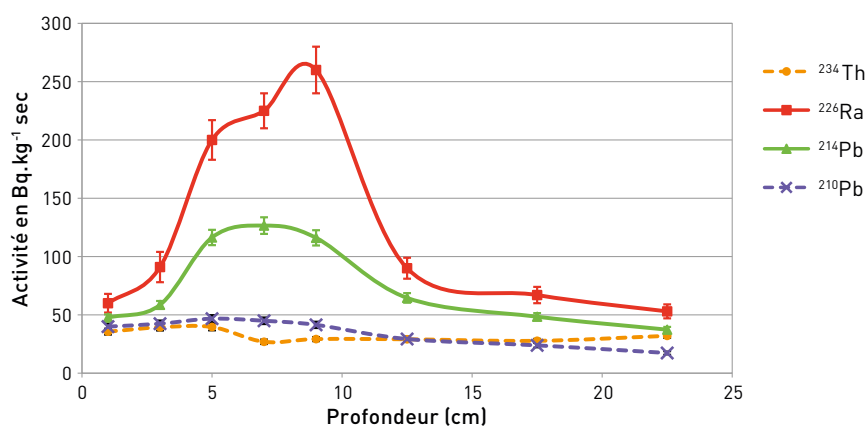


Figure 19. Activité du  $^{234}\text{Th}$ , du  $^{226}\text{Ra}$ , du  $^{214}\text{Pb}$  et du  $^{210}\text{Pb}$  en fonction de la profondeur du sol Hv3 de Hiva Oa.

## 4 2

CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ  
DANS LES ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES

Depuis 2016, 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 dans l'île de Tahiti. Les mesures effectuées sur les denrées des plateaux-repas sont exploitées pour estimer une dose efficace par ingestion. Cette approche se substitue 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.

En 2017-2018 :

- quarante-quatre 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 20. À ces produits locaux et régionaux s'ajoutent huit échantillons de produits importés. Au total, 286 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 bénitiers). Tous les échantillons ont été mesurés par spectrométrie  $\gamma$  et le plutonium a été recherché par spectrométrie  $\alpha$  dans 32 d'entre eux (poissons de lagon, bénitiers et chair de coco) pour lesquels des traces de ce radionucléide étaient encore décelées ces dernières années ;

- vingt plateaux-repas ont été collectés. Pour chacune des deux années, deux échantillons ont été constitués, l'un à partir des denrées consommées aux cinq repas hebdomadaires du midi, l'autre à partir de celles des repas du soir. Les quatre échantillons ont été mesurés par spectrométries  $\gamma$  et  $\alpha$  ; le tritium a été mesuré par scintillation liquide dans l'eau de lyophilisation. En complément de ces mesures sur les quatre échantillons, d'autres techniques analytiques (scintillation liquide et solide, comptage proportionnel et spectrométrie de masse ICP-MS) ont été utilisées en regroupant les deux échantillons du midi et du soir afin de déterminer la concentration moyenne des radionucléides d'origine naturelle dans l'alimentation de la population.

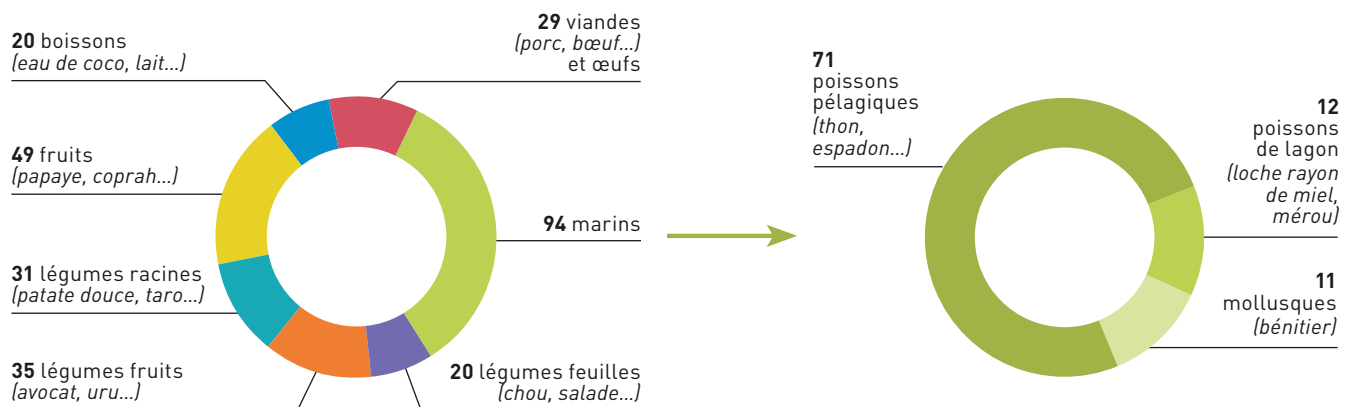


Figure 20. Répartition des prélèvements locaux et régionaux du domaine biologique en 2017-2018.

## Milieu marin

Parmi les 94 prélèvements du milieu marin effectués en 2017-2018, on distingue ceux du milieu océanique (poissons pélagiques comme le thon, le tazard ou l'espadon) de ceux du milieu lagunaire (mérus/loches ou bénéitiers).

### Poissons pélagiques

Soixante et onze prélèvements de poissons pélagiques de sept espèces différentes ont été effectués (Figure 21). Les niveaux d'activités massiques de  $^{137}\text{Cs}$  mesurés (Tableaux All-1 à All-9 [IRSN/DG, 2020]) sont dans la continuité des résultats obtenus les années précédentes et restent assez homogènes, entre 0,07 et 0,21  $\text{Bq.kg}^{-1}$  frais avec une valeur moyenne de  $0,12 \pm 0,03$  (1 écart-type), le maximum étant mesuré dans un espadon provenant des Gambier. Cette variabilité n'est toutefois pas liée à la zone de pêche.

### Poissons de lagon et bénéitiers

Vingt-trois échantillons de poissons de lagon et de bénéitiers ont été prélevés en 2017-2018 : 12 échantillons de poissons (mérus et loches rayon de miel) et 11 échantillons de bénéitiers. Les concentrations en  $^{137}\text{Cs}$  et en plutonium ( $^{239+240}\text{Pu}$  et  $^{238}\text{Pu}$ ) sont très faibles, similaires à celles observées lors des années précédentes, quelle que soit la provenance (Tableaux All-1 à All-9 [IRSN/DG, 2020]) :

- le  $^{137}\text{Cs}$ , rarement décelé dans les bénéitiers analysés (2 fois sur 11 analyses et à des valeurs de l'ordre du seuil de décision), peut encore être quantifié presque systématiquement dans les poissons de lagon analysés (11 sur 12). Toutes les valeurs mesurées sont inférieures à  $0,12 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais ;
- le  $^{239+240}\text{Pu}$  a été décelé dans la chair de six des sept échantillons de poissons de lagon analysés, à de très faibles concentrations (inférieures à  $0,33 \text{ mBq.kg}^{-1}$  frais). Quand il est détecté, la concentration du  $^{238}\text{Pu}$  est proche de la limite de détection. Le  $^{239+240}\text{Pu}$  et le  $^{238}\text{Pu}$  ont été quantifiés dans les onze échantillons de bénéitiers analysés, la valeur la plus élevée étant de  $11 \text{ mBq.kg}^{-1}$  frais en  $^{239+240}\text{Pu}$  pour un échantillon provenant de Mangareva (Gambier) ; les concentrations du  $^{238}\text{Pu}$  sont plus de 10 fois inférieures.

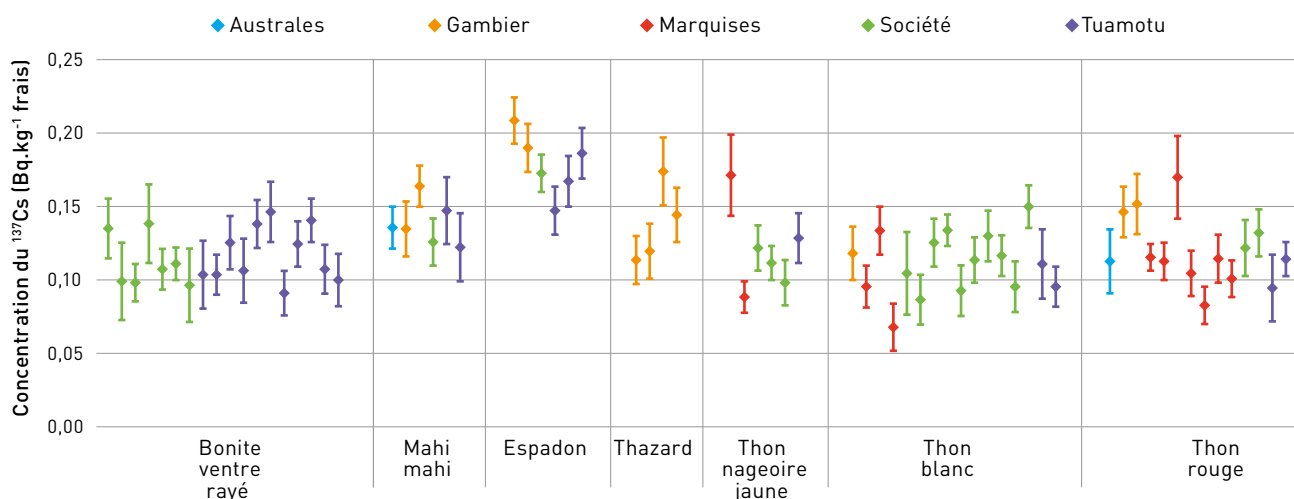


Figure 21. Concentration du  $^{137}\text{Cs}$  en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  en poids frais dans les 71 échantillons de poissons pélagiques prélevés au voisinage des îles des cinq archipels de Polynésie française en 2017-2018.

### SURVEILLANCE POST-FUKUSHIMA DANS LE DOMAINE MARIN DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE

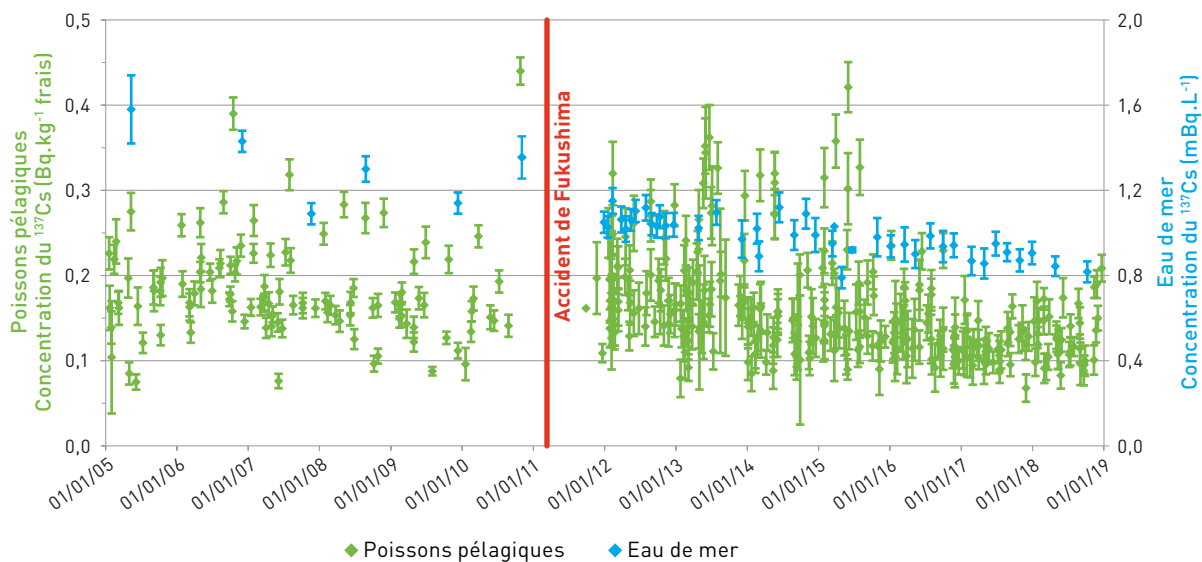
Après une surveillance spécifique des milieux atmosphérique et terrestre en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie [IRSN/DEI, 2011], [Bouisset P., 2012], une attention particulière depuis septembre 2011 est portée à l'eau de mer et aux poissons

pélagiques. Les fréquences des prélèvements ont été augmentées et les prélèvements répartis sur l'année.

Le  $^{134}\text{Cs}$  ( $T = 2,1$  ans) n'est pas un radionucléide produit par les expérimentations d'armes nucléaires. Lorsqu'il est décelé dans l'environnement, il provient de l'industrie électronucléaire. L'accident de la centrale de Fukushima en mars 2011 au Japon a conduit à une contamination de l'environnement en  $^{134}\text{Cs}$  et en  $^{137}\text{Cs}$ , avec des activités à l'époque à peu près égales. La détection de  $^{134}\text{Cs}$  corrélée à une augmentation de la concentration en  $^{137}\text{Cs}$  caractérise donc l'impact de Fukushima.

Cependant pour les poissons pélagiques, il est probable que si certaines espèces initialement contaminées, dans les eaux côtières japonaises ou dans les eaux du courant Kuroshio, étaient pêchées dans le Pacifique Sud, les concentrations seraient difficilement observables. En effet, la durée de migration au regard de la période biologique du césium dans les muscles des poissons réduit fortement la possibilité de mesurer le signal d'une contamination pour des espèces pêchées dans le Pacifique sud. De fait, depuis 2011, le  $^{134}\text{Cs}$  n'a jamais été détecté, les limites de détection sont comprises entre 0,03 et 0,07  $\text{Bq.kg}^{-1}$  frais pour les poissons pélagiques et entre 0,03 et 0,08  $\text{mBq.L}^{-1}$  pour l'eau de mer. Les activités en  $^{137}\text{Cs}$  sont cohérentes avec les résultats obtenus les années antérieures confirmant que la concentration du  $^{137}\text{Cs}$  observée est toujours attribuable aux retombées des essais nucléaires atmosphériques passés.

Ainsi la contamination provenant du domaine marin japonais n'a pas été décelée dans les eaux polynésiennes et dans les poissons pélagiques analysés (Figure 22).



**Figure 22.** Concentrations en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de poids frais de  $^{137}\text{Cs}$  dans les poissons pélagiques, toutes espèces confondues, prélevés au voisinage des côtes polynésiennes et concentrations en  $\text{mBq.L}^{-1}$  de  $^{137}\text{Cs}$  dans l'eau de mer océanique ou lagunaire de la ZEE de la Polynésie avant et après l'accident de la centrale japonaise de Fukushima Daiichi.

## Milieu terrestre

Les 212 échantillons analysés se répartissent en 20 échantillons de boissons (13 eaux de coco, 2 jus de fruit, 4 laits et 1 eau de ville), 86 de légumes (20 légumes feuilles, 35 légumes fruits et 31 légumes racines), 49 de fruits, 27 de viandes, 2 d'œufs et 20 de plateaux-repas ainsi qu'en 8 prélèvements relatifs à des produits d'importation (2 laits, 4 viandes et 2 riz).

### Lait de vache

Le lait de vache a été mesuré par spectrométrie  $\gamma$  avec des fréquences 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  $^{137}\text{Cs}$ .

Les teneurs en  $^{137}\text{Cs}$  mesurées pour la période 2017-2018 sont comprises entre 0,07 et 0,12  $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  (Tableau AII-9 [IRSN/DG, 2020]) dans les quatre échantillonnages de lait entier local; elles sont comparables aux dernières données publiées pour la Nouvelle-Zélande [Ministry of Health N-Z, 2014] et sont, comme les années précédentes, légèrement supérieures à celles du lait importé de France métropolitaine qui est de l'ordre de 0,02  $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  en 2017-2018 (Tableau AII-11 [IRSN/DG, 2020]).

### Boissons, fruits, légumes, viandes, œufs et produits importés

Les résultats de spectrométrie  $\gamma$  des 186 denrées (liquides et solides) et de spectrométrie  $\alpha$  des 14 échantillons de coprah sont présentés dans les tableaux AII-1 à AII-11 [IRSN/DG, 2020].

- Le  $^{137}\text{Cs}$  est quantifié dans plus de la moitié des échantillons (119 sur 186 échantillons analysés dont 67 valeurs inférieures à  $0,10 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  frais). Les teneurs les plus élevées de  $^{137}\text{Cs}$  dans les denrées produites en Polynésie française sont mesurées dans les viandes, et notamment dans la viande de bœuf de Tahiti (valeur maximale de  $7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  frais mesurée en 2018). Sur les vingt dernières années, il n'y a pas d'évolution marquée à la baisse ou à la hausse dans le temps (Figure 23). La variabilité des résultats de mesure est probablement 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 provenant d'autres îles de Polynésie française ou importée de Nouvelle-Zélande sont inférieures.
- Le  $^{239+240}\text{Pu}$  a été décelé dans 10 échantillons de coprah sur 14 analysés sans excéder  $0,08 \text{ mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  frais (Rangiroa) et le  $^{238}\text{Pu}$  n'a jamais dépassé le seuil de décision.

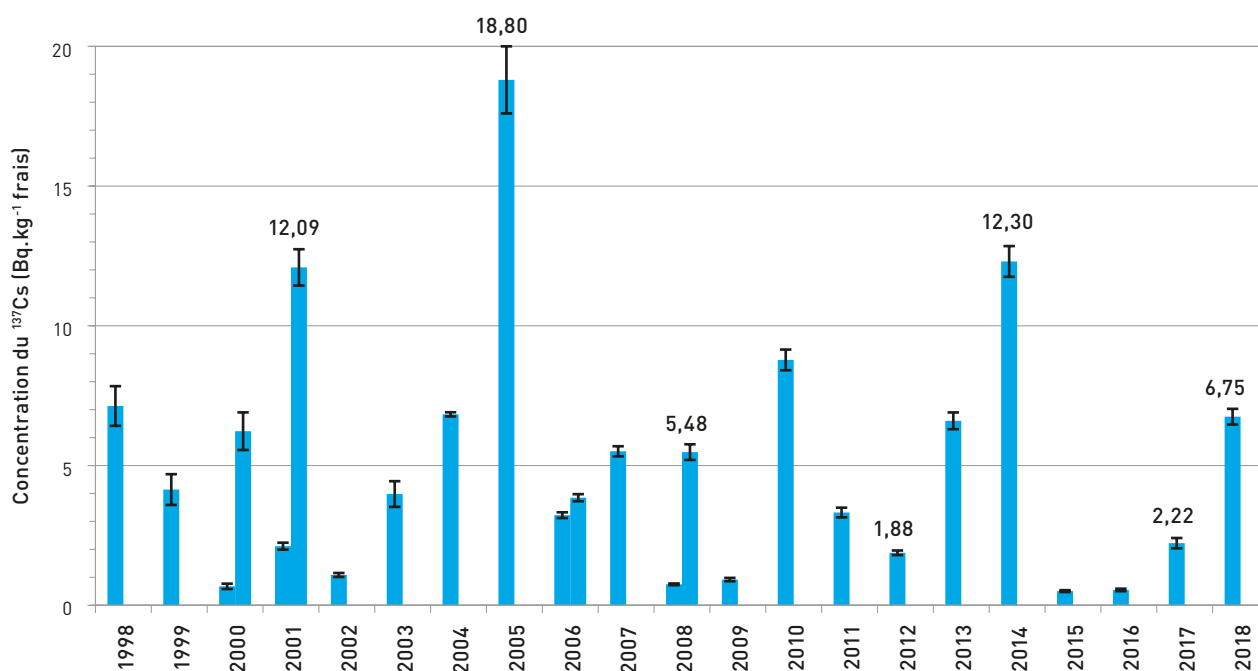


Figure 23. Concentration, en  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  frais, du  $^{137}\text{Cs}$  dans la viande de bœuf provenant de Tahiti entre 1998 et 2018.



### CHRONIQUE : ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION DU $^{137}\text{Cs}$ DANS L'EAU DE COCO PROVENANT DES CINQ ARCHIPELS DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE

Les facteurs de transfert dans les fruits du  $^{137}\text{Cs}$  contenu dans les sols sont souvent supérieurs à 1 Bq/kg frais de fruits par Bq/kg de sol en région tropicale [Carini F., 2001], soit 100 à 1 000 fois plus élevés que ceux des régions tempérées. L'eau de coco présente au cœur de la pulpe contient également du  $^{137}\text{Cs}$ ; elle est mesurée régulièrement

car elle a été et reste encore actuellement pour les habitants des atolls un complément important aux eaux de boissons. La diminution au cours du temps de la concentration du  $^{137}\text{Cs}$  dans les eaux de coco (Figure 24) est principalement due à la décroissance radioactive du radionucléide présent dans les sols.

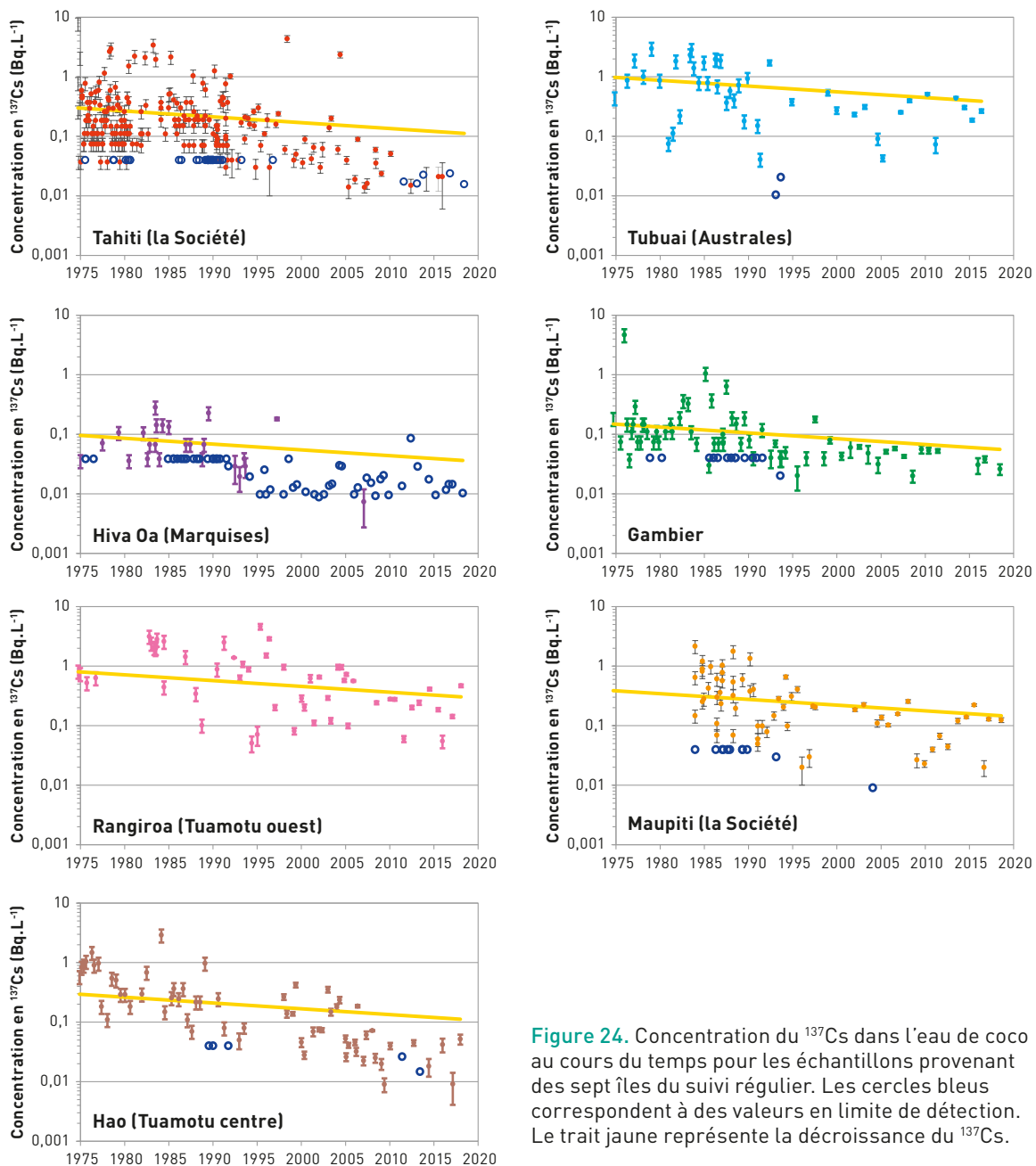


Figure 24. Concentration du  $^{137}\text{Cs}$  dans l'eau de coco au cours du temps pour les échantillons provenant des sept îles du suivi régulier. Les cercles bleus correspondent à des valeurs en limite de détection. Le trait jaune représente la décroissance du  $^{137}\text{Cs}$ .

### Plateaux-repas et boissons

Les contenus et les quantités de chaque plateau (exemple d'un échantillonnage en Figure 25) sont détaillés dans le rapport Annexes (Tableaux AIII-1 à AIII-6) ainsi que l'ensemble des résultats (Tableaux AII-12 à AII-14 [IRSN/DG, 2020]) concernant les analyses indiquées dans le Tableau 5. Certaines analyses (U,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{14}\text{C}$  et  $^3\text{H}$  organique) de la ration solide et les analyses radiologiques des eaux n'ont pas été effectuées en 2017-2018 <sup>(6)</sup>. Les autres boissons: eau de coco, jus d'ananas et lait (local et importé) ont été analysées (Tableaux AII-9 et AII-11 [IRSN/DG, 2020]).

Les principaux radionucléides mesurés ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^3\text{H}$  libre et  $^7\text{Be}$ ) sont ceux présents naturellement dans l'environnement. Les teneurs sont environ 100 fois plus faibles dans les eaux de boissons que dans les autres denrées liquides ou solides. Le  $^{40}\text{K}$  est systématiquement décelé dans tous les produits. Il en est de même du  $^{14}\text{C}$  dans les denrées solides car le carbone élémentaire est un constituant important (50 % en masse sèche) de la matière organique. Les autres radionucléides sont à des teneurs plus faibles et ceux d'origine artificielle ( $^{137}\text{Cs}$ , isotopes du Pu) sont à l'état de traces lorsqu'ils sont détectés. Les activités en  $^{90}\text{Sr}$  sont inférieures aux seuils de décision.



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

Tableau 5. Types d'analyses effectuées pour les plateaux-repas en 2017-2018.

Technique d'analyse	Radionucléide	2017		2018	
		5 repas midi	5 repas soir	5 repas midi	5 repas soir
Spectrométrie $\gamma$	$^{137}\text{Cs}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{40}\text{K}$ , $^7\text{Be}$	•	•	•	•
Spectrométrie $\alpha$	Pu	•	•	•	•
Scintillation liquide bas niveau (ALOKA)	$^3\text{H}$ libre	•	•	•	•
Emanométrie - scintillation solide	$^{226}\text{Ra}$		•		•
Spectrométrie $\alpha$	$^{210}\text{Po}$		•		•

(6) La mesure de ces radionucléides n'est pas effectuée systématiquement tous les ans car les mesures de  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$  et U sont inférieures aux seuils de décision et celle du  $^{14}\text{C}$  est stable (liée aujourd'hui aux apports naturels).



Préparation des denrées.

# 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  $\mu$ 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, il augmente 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 ;

- au radon, gaz rare radioactif qui provient de la désintégration de l'uranium présent dans l'écorce terrestre. Il est omniprésent dans l'air et peut s'accumuler dans les endroits fermés et mal aérés. L'IRSN a publié une cartographie du potentiel radon des formations géologiques de la Polynésie française [Ielsch G., 2014]. Le potentiel radon est faible pour les atolls, faible à moyen pour les îles hautes avec quelques zones très limitées en catégorie plus élevée sur Tahiti, Moorea et Nuku Hiva (l'île de Makatea reste un cas particulier avec ses gisements de phosphate riches en uranium et en thorium).

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 est due :

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

Ces sources d'exposition d'origine naturelle et artificielle sont ensuite déclinées en voies d'exposition externe et interne (inhalation et ingestion) 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  $^{137}\text{Cs}$  à l'exposition externe. La contribution des rayonnements tellurique et cosmique est également prise en compte.

## 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 cosmiques et telluriques). Une valeur moyenne de  $700 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$  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  $^{137}\text{Cs}$  issu des retombées aux sols des essais d'armes nucléaires atmosphériques. La dose efficace ajoutée d'origine artificielle, estimée à partir du dépôt de  $^{137}\text{Cs}$  (seul radionucléide artificiel émetteur  $\gamma$  encore décelable dans les sols), est inférieure à  $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$  pour l'île de Tahiti [Bouisset P., 2007]. La présence de plutonium et de  $^{90}\text{Sr}$  dans les sols [7] ne contribue pas à l'exposition externe car ce sont des émetteurs respectivement  $\alpha$  et  $\beta$ .

## - Dose efficace annuelle liée à l'inhalation \_

Les doses efficaces annuelles engagées par inhalation des radionucléides mesurés par spectrométrie  $\gamma$  sur les filtres d'aérosols ont été évaluées (Tableau 6) à partir de leur concentration moyenne annuelle (chapitre 4.1). Ces évaluations ont été faites pour des adultes de plus de 17 ans respirant  $22 \text{ m}^3$  d'air par jour, avec les coefficients de dose du J.O. de 2003 [J.O., 2003]. Il est important de noter que plusieurs autres radionucléides présents dans l'air en Polynésie ne sont pas mesurables par spectrométrie  $\gamma$ ; les doses liées à leur inhalation n'ont donc pas pu être estimées. Il s'agit notamment, pour les radionucléides artificiels, des isotopes du plutonium, de  $^{241}\text{Am}$  et du  $^{90}\text{Sr}$ . Pour la même raison, les doses dues à l'inhalation d'autres radionucléides naturels présents dans l'air n'ont pas été estimées.

**Tableau 6.** Dose efficace engagée, en  $\mu\text{Sv}$ , en 2017 et en 2018 par l'inhalation des radionucléides mesurés par spectrométrie  $\gamma$  dans les aérosols de Tahiti par les adultes de plus de 17 ans.

	Radionucléide artificiel	Radionucléides naturels			Total
	$^{137}\text{Cs}$	$^7\text{Be}$	$^{22}\text{Na}$	$^{210}\text{Pb}$	
2017	$3,0 \cdot 10^{-6}$	0,0012	$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,66	0,66
2018	$3,0 \cdot 10^{-6}$	0,0013	$2,3 \cdot 10^{-6}$	0,62	0,62

[7] Le  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{137}\text{Cs}$ .



## - Dose efficace annuelle liée à l'ingestion -

Les analyses ont porté sur des plateaux-repas regroupés durant cinq jours d'affilée afin d'établir la concentration moyenne des radionucléides dans l'alimentation de la population<sup>(8)</sup>. Par ailleurs des eaux de différentes provenances (eaux commerciales et eaux de ville) et d'autres boissons (lait, eau de coco, jus d'ananas) ont été prélevées pour compléter la ration alimentaire annuelle moyenne. L'eau étant un produit consommé en grande quantité et de provenance variée, six prélèvements (trois eaux commerciales et trois eaux distribuées par les communes) ont été effectués en considérant une consommation égale pour chacune d'entre elles. À partir d'un échantillonnage sur cinq jours, les denrées solides ingérées annuellement en 2017 et en 2018 représentent respectivement 575 et 492 kg par personne. 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 26, Tableaux AIII-3 et AIII-6 [IRSN/DG, 2020]).

L'évaluation de la dose efficace engagée par l'ingestion d'aliments et de boissons est effectuée à partir des concentrations des différents radionucléides mesurées (chapitre 4.2), exprimées en Bq.L<sup>-1</sup> pour les liquides et Bq.kg<sup>-1</sup> frais pour les solides, multipliées par les quantités annuelles ingérées, en L.an<sup>-1</sup> ou en kg.an<sup>-1</sup>, et par les coefficients de doses efficaces engagées par unité d'incorporation par ingestion, en μSv.Bq<sup>-1</sup> [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 ne sont pas effectuées systématiquement chaque année (voir chapitre 4); les résultats de 2016 ont dans ces cas-là été intégrés pour les calculs de dose de 2017 et de 2018.

Les doses annuelles liées à l'ingestion de radionucléides artificiels, estimées à partir des mesures effectuées sur les plateaux-repas collectés en 2017 et en 2018, sont respectivement d'environ 0,5 μSv et 0,6 μSv (Tableau 7); elles sont dues principalement au <sup>137</sup>Cs et au <sup>90</sup>Sr, la contribution des isotopes du plutonium étant très faible. Parmi les principaux contributeurs à la dose par ingestion de radionucléides naturels (<sup>40</sup>K, <sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra et <sup>14</sup>C), trois ont été quantifiés au moins une fois dans les plateaux-repas: <sup>210</sup>Po, <sup>226</sup>Ra et <sup>228</sup>Ra (le <sup>228</sup>Ra au travers d'une mesure de <sup>228</sup>Ac); les doses résultant de leur incorporation peuvent donc être estimées directement à partir de ces résultats de mesure (Figure 27). Les activités du <sup>210</sup>Pb étant trop faibles pour être mesurées, les doses liées à l'incorporation par ingestion de ce radionucléide sont estimées de manière majorante à partir des limites de détection (soit 2 fois les valeurs des seuils de décision). La mesure en 2016 de <sup>14</sup>C a été utilisée pour le calcul de la dose. Enfin, les doses dues au <sup>40</sup>K ne dépendent pas des teneurs mesurées dans les plateaux-repas. En effet, le potassium est régulé par l'organisme (kaliémie) entraînant une teneur en <sup>40</sup>K 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 est ainsi estimée en 2017 à 0,55 mSv (550 μSv) et en 2018 à 0,66 mSv (660 μSv).



Figure 26. Denrées solides et liquides analysées.

(8) Les petits-déjeuners ne sont pas inclus, hormis le lait et le jus d'ananas, pris en compte dans les boissons, qui peuvent en être une part.

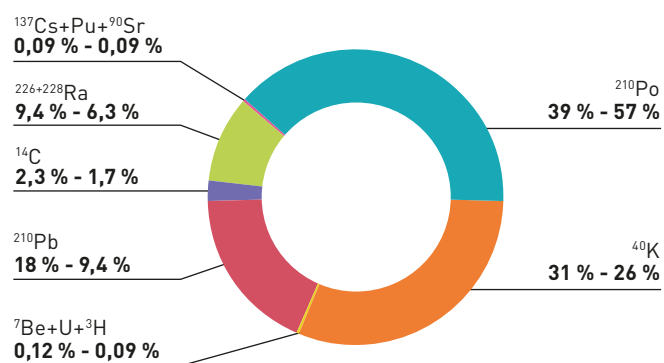
**Tableau 7.** Répartition par radionucléide de la dose efficace engagée, en  $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$ , en 2017 et en 2018 pour l'ingestion (aliments solides et boissons) par les adultes de plus de 17 ans à Tahiti.

	Radioactivité artificielle			Radioactivité naturelle									Total
	$^{137}\text{Cs}$	Pu*	$^{90}\text{Sr}$	$^{210}\text{Po}$	$^{40}\text{K}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{14}\text{C}$	U**	$^3\text{H}^{***}$	$^7\text{Be}$	
2017	0,20	0,027	0,27	217	170	100	33	19	13	0,63	0,010	0,0058	553
2018	0,37	0,016	0,23	371	170	62	30	11	11	0,57	0,0079	0,0029	657

\* Somme des doses dues aux 3 isotopes du plutonium (238, 239 et 240).

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

\*\*\* Somme des doses dues aux  $^3\text{H}$  libre et organique.


**Figure 27.** Répartition des différents radionucléides mesurés contribuant aux doses efficaces engagées en 2017 et 2018 relatives à l'ingestion (aliments solides et boissons) pour les adultes.

## Dose efficace annuelle totale

La dose efficace totale, somme des trois composantes : irradiation externe, inhalation et ingestion, pour la population adulte vivant en 2017-2018 à Tahiti, est de l'ordre de 1,4 mSv, soit 1400  $\mu\text{Sv}$  (Tableau 8). 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 représentant moins de 0,1 % de la dose totale (hors inhalation de radon). Cette exposition est quasi totalement (99,9 %) attribuable au rayonnement cosmique et à la radioactivité naturelle, l'exposition due à la radioactivité artificielle représentant de l'ordre de 0,1 % de la dose efficace totale. L'exposition annuelle ainsi calculée pour les adultes vivant à Tahiti est proche de l'exposition moyenne annuelle de la population en métropole sans tenir compte du radon et de l'exposition médicale [IRSN, 2015].

**Tableau 8.** Dose efficace annuelle totale ( $\mu\text{Sv}$ ) pour les adultes à Tahiti en 2017 et en 2018.

	Origine de l'exposition	Exposition externe	Inhalation (hors radon)	Ingestion	Total
2017	Artificielle	< 1	négligeable	0,50	< 1,5
	Naturelle	700	négligeable	552	1252
2018	Artificielle	< 1	négligeable	0,62	< 1,6
	Naturelle	700	négligeable	656	1356

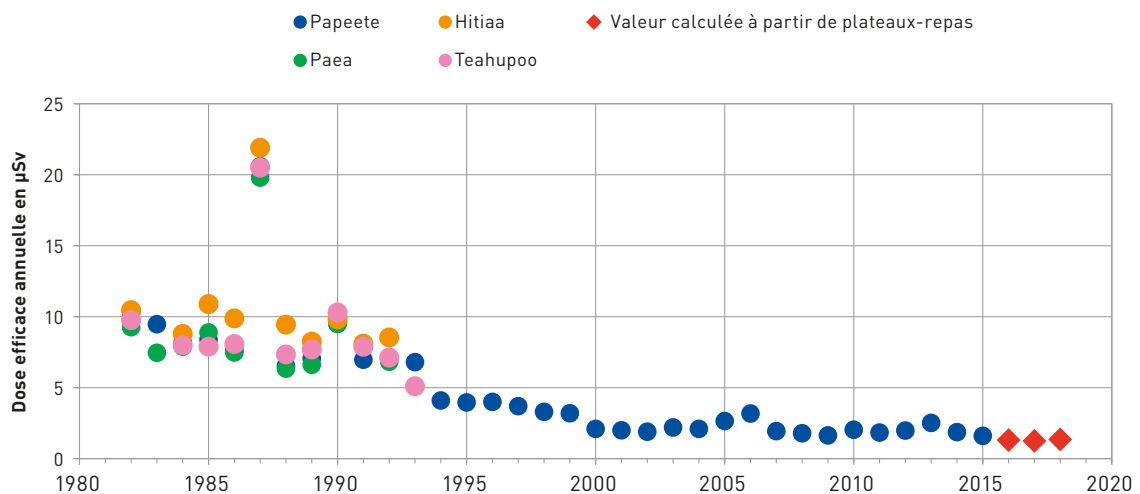


## CHRONIQUE: ÉVOLUTION DE LA DOSE EFFICACE ANNUELLE AJOUTÉE PAR LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE À TAHITI

La dose efficace annuelle 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 (ajoutée par la radioactivité artificielle) a été restreint à la commune de Papeete.

La ration alimentaire n'étant pas actualisée depuis de nombreuses années, le calcul de la dose par ingestion est effectué depuis 2016 à partir de la mesure de la radioactivité dans des plateaux-repas collectés à Tahiti.

La dose a diminué progressivement dans le temps de  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$  au début des années 1980 à moins de  $2 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$  en 2018 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 28).



**Figure 28.** 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.



Le séchage du coprah.

# 6 CONCLUSION

**E**n 2017-2018, l'IRSN a poursuivi la surveillance radiologique des sept îles de la Polynésie française qu'il suit régulièrement depuis 1998 en intégrant deux autres îles de la Société, Raiatea et Huahine.

Cinquante-six prélèvements ont été effectués pour le domaine physique (air, eaux et sols) et trois cent six pour le domaine biologique (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  $\gamma$  et spectrométrie  $\alpha$ ) 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 de la population utilisant en particulier les mesures réalisées.

## – Résultats des mesures de radioactivité artificielle en 2017-2018 \_

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

### ■ C'est le $^{137}\text{Cs}$ qui a été principalement décelé.

- Pour l'ensemble des produits analysés, les valeurs sont toujours extrêmement faibles, souvent inférieures à  $0,10 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais.
- Pour les **poissons** (haute mer et lagon), les valeurs maximales obtenues n'excèdent pas  $0,21 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais. Il est rarement décelé dans les **bénitiers**, et lorsque c'est le cas, les valeurs sont proches des seuils de décision.
- Huit résultats sont supérieurs à  $1 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais de  $^{137}\text{Cs}$  pour les **denrées du domaine terrestre** : compris entre  $1,0$  et  $6,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais pour la viande de bœuf de Tahiti, la viande de porc de Maupiti, de Rangiroa, de Hao, de Mangareva et la chair de coco séché (coprah) de Rangiroa.
- Les concentrations dans les **sols** de Raiatea et des îles Gambier sont d'environ  $0,5$  à  $2 \text{ Bq.kg}^{-1}$  sec dans les premiers centimètres de profondeur. Les inventaires en  $^{137}\text{Cs}$  pour les sols de Raiatea ( $410 \pm 22 \text{ Bq/m}^2$ ) et pour les sols des Gambier ( $510 \pm 28 \text{ Bq/m}^2$ ) sont plus élevés que ceux établis précédemment par l'IRSN pour les sols de Hiva Oa ( $223 \pm 19 \text{ Bq/m}^2$ ) et de Raivavae ( $297 \pm 34 \text{ Bq/m}^2$ ) et plus élevés que les évaluations de l'UNSCEAR dans les bandes de latitudes correspondantes ( $177$  et  $298 \text{ Bq/m}^2$  respectivement dans les bandes  $10\text{-}20^\circ \text{ S}$  et  $20\text{-}30^\circ \text{ S}$ ).
- Dans les **eaux douces** (source, rivière et pluie), le  $^{137}\text{Cs}$  n'a été décelé qu'à une valeur extrêmement faible dans une eau de rivière ( $0,07 \text{ mBq.L}^{-1}$ ).
- Dans l'**eau de mer**, les valeurs obtenues sont proches de  $1 \text{ mBq.L}^{-1}$ .
- Dans les **aérosols** prélevés à Tahiti, le  $^{137}\text{Cs}$  n'est décelé qu'à l'état de traces (de l'ordre de  $0,10 \mu\text{Bq.m}^{-3}$ ).

### ■ Le plutonium a été recherché spécifiquement dans quelques échantillons biologiques et dans les sols.

- Le plutonium a été détecté dans les onze prélèvements de **bénitier** avec une teneur maximale en Pu total à 12 mBq.kg<sup>-1</sup> frais pour un échantillon de Mangareva (Gambier), dans quatre des cinq prélèvements de **poisson de lagon** avec une teneur maximale en Pu à 0,15 mBq.kg<sup>-1</sup> frais pour un échantillon de Maupiti (Société) ainsi que dans dix des quatorze prélèvements de **coprah** avec une teneur maximale en Pu total inférieure à 0,10 mBq.kg<sup>-1</sup> frais pour un échantillon de Rangiroa (Tuamotu).
- Dans les **sols** de Raiatea (archipel de la Société), les teneurs en plutonium sont inférieures à 0,6 Bq.kg<sup>-1</sup> sec. Comme pour le <sup>137</sup>Cs, au-delà de 15 cm de profondeur, la teneur diminue fortement. L'inventaire en <sup>239+240</sup>Pu pour les sols de Raiatea (45,3 ± 2,2 Bq/m<sup>2</sup>) est plus élevé que l'inventaire moyen global réalisé en 1970 (7,6 ± 2,1 Bq/m<sup>2</sup> dans la bande de latitude 10-20° S) et plus élevé que dans les îles de Hiva Oa et de Raivavae.

### ■ Le <sup>60</sup>Co n'a été détecté dans aucun échantillon et le <sup>90</sup>Sr n'a pas été détecté dans les plateaux-repas.

## – Inventaires dans les sols –

Les inventaires du <sup>137</sup>Cs et du plutonium (<sup>239+240</sup>Pu et <sup>238</sup>Pu) dans les sols de Hiva Oa (archipel des Marquises) et de Raivavae (Archipel des Australes) sont dans la gamme des valeurs mesurées aux latitudes correspondantes pour l'ensemble de l'hémisphère sud. Par contre, les inventaires en <sup>137</sup>Cs pour les sols de l'archipel des Gambier, en <sup>137</sup>Cs et en plutonium dans les sols de Raiatea (archipel de la Société), semblent indiquer un excès de radioactivité déposée.

Les mesures de plutonium par spectrométrie  $\alpha$  et par spectrométrie de masse pour les sols des Gambier, en cours à la date de réalisation du présent rapport et à venir pour d'autres îles de la Société, permettront de mieux apprécier la contribution des essais atmosphériques français aux retombées globales estimées par l'UNSCEAR.

## – Exposition des populations –

L'exposition de la population aux rayonnements ionisants est quasi exclusivement d'origine naturelle. Le rayonnement cosmique et les radionucléides d'origine naturelle présents dans les sols et dans les denrées (principalement <sup>40</sup>K, <sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra et <sup>14</sup>C) contribuent 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 <sup>137</sup>Cs qui contribue très faiblement à l'exposition. Le plutonium et le <sup>90</sup>Sr ne contribuent pas à l'exposition externe et très faiblement à l'exposition interne par ingestion d'aliments.

En 2017-2018, la dose efficace totale (exposition externe, exposition interne par ingestion et inhalation) est de l'ordre de 1,4 mSv en Polynésie française, proche de l'exposition moyenne annuelle de la population en métropole hors radon et hors exposition médicale.



# 7 RÉFÉRENCES

- **Benett B-G., 1978.** *Environmental aspects of americium.* Report EML-348, 202 p.
- **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, 45 p.
- **Bouisset P., Bernagout Solène., 2010.** *Évolution de la stratégie de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française.* Rapport DEI/SESURE 2010-28. 36 p.
- **Bouisset P., Leclerc G., et Rua J., 2007.** *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2006 - Résultats du réseau de surveillance de l'IRSN.* Rapport DEI/SESURE 2007-78, p. 99.
- **Bouisset P., Nohl M., Bouville A., Leclerc G., 2018.** *Inventory and vertical distribution of <sup>137</sup>Cs, <sup>239+240</sup>Pu and <sup>238</sup>Pu in soil from Raivavae and Hiva Oa, two French Polynesian islands in the southern hemisphere.* J. Environ. Radioact. 183, pp. 82-93.
- **Carini F., 2001.** *Radionuclide transfer from soil to fruit.* J. Environ. Radioact. 52, pp. 237-279.
- **Hardy E-P., Krey P-W., Volchock H-L., 1973.** *Global inventory and distribution of fallout plutonium.* Nature 241, pp. 444-445.
- **Hirose K., Aoyama M., Fukusawa M., Kim C-S., Komura K., Povinec P-P., Sanchez-Cabesa J-A., 2007.** *Plutonium and <sup>137</sup>Cs in surface seawater of the South Pacific Ocean.* Sci. Total Environ. 381, pp. 243-255.
- **Ielsch G., Cushing M., 2014.** *Cartographie du potentiel radon des formations géologiques dans les DROM-COM - Lot 2: Polynésie française.* Rapport RT/PRP-DGE/2014-0013, 30 p.
- **IRSN, 2015.** *Exposition de la population française aux rayonnements ionisants.* Rapport IRSN/2015-00001, 22 p.
- **IRSN/DG, 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, 40 p.
- **IRSN/DEI, 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, 90 p.
- **IRSN/DG, 2020.** *Surveillance de la radioactivité en Polynésie française - Annexes au bilan 2017-2018.* Rapport IRSN DG/2020-00107, 44 p.
- **IRSN/PRP-ENV, 2016.** *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2015 - Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN.* Rapport PRP-ENV/SESURE 2015-41, 40 p.
- **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.
- **J.O., 2003.** *Arrêté du 1<sup>er</sup> 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.
- **Kirchner G., Strebl F., Bossew P., Ehlken 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.
- **Ministry of Health N-Z. 2014.** *Environmental radioactivity report 2012/13,* 2 p.
- **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.** *<sup>137</sup>Cs in the western South Pacific Ocean.* Total Environ. 382, pp. 342-350.

## Mots-clés

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

## Table des illustrations et des tableaux

### ■ Illustrations

<b>Figure 1.</b> Position des neuf îles de Polynésie française retenues dans le programme de surveillance radiologique de 2017-2018. ....	11
<b>Figure 2.</b> Laboratoires de mesure $\gamma$ et de radiochimie. ....	12
<b>Figure 3.</b> Concentration en $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ du $^{137}\text{Cs}$ dans les aérosols prélevés à Tahiti de janvier 1971 à décembre 2018. ....	14
<b>Figure 3.</b> Concentration en $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ du $^{137}\text{Cs}$ dans les aérosols prélevés à Orsay (Essonne) de janvier 1971 à décembre 2018. ....	14
<b>Figure 5.</b> Prélèvement d'aérosols à Vairao (presqu'île de Tahiti) avec une station haut débit ( $800\text{ m}^3/\text{h}$ ) en fonctionnement depuis 2017. ....	15
<b>Figure 6.</b> Concentration du $^{137}\text{Cs}$ en $\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$ dans l'eau de mer océanique ou lagunaire de la ZEE de la Polynésie française de 1983 à 2018. ....	16
<b>Figure 8.</b> 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. ....	17
<b>Figure 7.</b> Prélèvement d'eau de source à Mataiea (côte sud de Tahiti) en 2018. ....	17
<b>Figure 9.</b> Nombre d'essais nucléaires atmosphériques effectués par les grandes puissances entre 1945 et 1980... 18	
<b>Figure 10.</b> Proportion par site d'essais des injections troposphériques dans l'hémisphère sud. ....	19
<b>Figure 12.</b> Dépôt annuel du $^{137}\text{Cs}$ dans l'hémisphère sud (UNSCEAR, 2000). ....	19
<b>Figure 11.</b> Répartition par puissance nucléaire des retombées stratosphériques, exprimées en Mt d'énergie de Fission, dans l'hémisphère sud. ....	19
<b>Figure 13.</b> Position des îles dont les sols ont été échantillonnés entre 2015 et 2018 par rapport aux sites d'essais français à Moruroa et à Fangataufa (assimilés à la même position) et au site d'essais du Royaume-Uni aux Malden. ....	20
<b>Figure 14.</b> Prélèvement de sol et découpe en laboratoire d'une carotte par section. ....	21
<b>Figure 16.</b> Concentration du $^{137}\text{Cs}$ , du $^{239+240}\text{Pu}$ et du $^{238}\text{Pu}$ ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ ) dans les sols en fonction de la profondeur pour les trois sites de Raiatea analysés. ....	22
<b>Figure 15.</b> Localisation des sites de prélèvement des sols à Raiatea (île de la Société) en octobre 2017. ....	22
<b>Figure 17.</b> Localisation des sites de prélèvement des sols à Mangareva, Akamaru, Aukena et Taravai (îles des Gambier) en mai 2018. ....	23
<b>Figure 18.</b> Concentration du $^{137}\text{Cs}$ en $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ dans les sols en fonction de la profondeur pour les six sites des Gambier analysés (les analyses de Pu sont en cours à la date d'édition du présent rapport). ....	23
<b>Figure 19.</b> Activité du $^{234}\text{Th}$ , du $^{226}\text{Ra}$ , du $^{214}\text{Pb}$ et du $^{210}\text{Pb}$ en fonction de la profondeur du sol Hv3 de Hiva Oa. ....	26
<b>Figure 20.</b> Répartition des prélèvements locaux et régionaux du domaine biologique en 2017-2018. ....	27
<b>Figure 21.</b> Concentration du $^{137}\text{Cs}$ en $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ en poids frais dans les 71 échantillons de poissons pélagiques prélevés au voisinage des îles des cinq archipels de Polynésie française en 2017-2018. ....	28
<b>Figure 22.</b> Concentrations en $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids frais du $^{137}\text{Cs}$ dans les poissons pélagiques, toutes espèces confondues, prélevés au voisinage des côtes polynésiennes et concentrations en $\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$ du $^{137}\text{Cs}$ dans l'eau de mer océanique ou lagunaire de la ZEE de la Polynésie avant et après l'accident de la centrale japonaise de Fukushima Daiichi. ....	29
<b>Figure 23.</b> Concentration, en $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ frais, du $^{137}\text{Cs}$ dans la viande de bœuf provenant de Tahiti entre 1998 et 2018. ....	30
<b>Figure 24.</b> Concentration du $^{137}\text{Cs}$ dans l'eau de coco au cours du temps pour les échantillons provenant des sept îles du suivi régulier. ....	31
<b>Figure 25.</b> Contenu d'un plateau-repas servi en collectivité le midi. ....	32



**Figure 26.** Denrées solides et liquides analysées. ....36

**Figure 27.** Répartition des différents radionucléides mesurés contribuant aux doses efficaces engagées en 2017 et 2018 relatives à l'ingestion (aliments solides et boissons) pour les adultes.....37

**Figure 28.** 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 ( $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) des  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{40}\text{K}$  et  $^{210}\text{Pb}$  dans les aérosols prélevés sur filtres à Tahiti et à Orsay (Essonne) de 2016 à 2018..... 13

**Tableau 2.** Répartition en profondeur et médiane de l'activité du  $^{137}\text{Cs}$  et du plutonium dans les sols des trois sites de Raiatea. ....22

**Tableau 3.** Répartition en profondeur et médiane de l'activité du  $^{137}\text{Cs}$  dans les sols des six sites des Gambier. ....23

**Tableau 4.** Rapports d'activités et inventaires du  $^{137}\text{Cs}$  et du plutonium en 2018 dans les sols de Raiatea, des Gambier, de Hiva Oa et de Raivavae et valeurs de références dans les bandes de latitude 0-10° S, 10-20° S et 20-30° S.....25

**Tableau 5.** Types d'analyses effectuées pour les plateaux-repas en 2017-2018.....32

**Tableau 6.** Dose efficace engagée, en  $\mu\text{Sv}$ , en 2017 et en 2018 par l'inhalation des radionucléides mesurés par spectrométrie  $\gamma$  dans les aérosols de Tahiti par les adultes de plus de 17 ans. ....35

**Tableau 7.** Répartition par radionucléide de la dose efficace engagée, en  $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$ , en 2017 et en 2018 pour l'ingestion (aliments solides et boissons) par les adultes de plus de 17 ans à Tahiti. ....37

**Tableau 8.** Dose efficace annuelle totale ( $\mu\text{Sv}$ ) pour les adultes à Tahiti en 2017 et en 2018. ....37

*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**  
**PSE-ENV**

Service d'expertise et d'étude en radioprotection des populations  
et de la radioactivité dans l'environnement  
Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement  
IRSN/PSE-ENV/SEREN/LESE  
BP 182  
98725 Vairao – Tahiti – Polynésie française

**Mail**  
patrick.bouisset@mail.pf

**N° du rapport**  
IRSN DG/2020-00107  
Tous droits réservés IRSN  
Février 2020

Conception graphique :  
Agence Kazoar  
www.kazoar.fr

Photo de couverture :  
Raiatea (archipel de la Société). © IRSN/LESE

Autres photos :  
IRSN/LESE



**IRSN**  
INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**Siège social**

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

**Téléphone** : +33 (0)1 58 35 88 88

**Courrier** : BP 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

**Site Internet** : [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

**Mail** : [contact@irsn.fr](mailto:contact@irsn.fr)



@IRSNFrance, @radioprotection

**ETSON**