

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2016

Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN



L'IRSN FAIRE AVANCER LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'IRSN, établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) – dont les missions sont définies par la Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (TECV) – est l'expert public national des risques nucléaires et radiologiques. L'IRSN concourt aux politiques publiques en matière de sûreté nucléaire et de protection de la santé et de l'environnement au regard des rayonnements ionisants. Organisme de recherche et d'expertise, il agit en concertation avec tous les acteurs concernés par ces politiques, tout en veillant à son indépendance de jugement.

L'IRSN est placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, du ministère des Affaires sociales et de la Santé, du ministère de la Défense.

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
1 800
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 DE
280 M€

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

La surveillance radiologique régulière de l'environnement faite par l'IRSN repose sur des réseaux de balises de télé-détection 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, du niveau de radioactivité fixée 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 (7 stations).
- **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, mousses terrestres, mousses aquatiques, algues...). 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 nouvelles 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...). Les constats sont l'occasion pour le citoyen de mieux comprendre et s'approprier une information par nature complexe et d'agir sur la nature même de la surveillance effectuée.

RÉSUMÉ

La surveillance radiologique de l'environnement, exercée par le Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement (LESE) de l'IRSN depuis 1962 en Polynésie française, hors des anciens sites d'expérimentations nucléaires de Moruroa et Fangataufa, consiste à prélever régulièrement des échantillons de nature variée dans les différents milieux (atmosphérique, terrestre et marin) avec lesquels la population peut être en contact ainsi que des denrées alimentaires. Depuis 1998, ces denrées proviennent de sept îles (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva et Tubuai), représentantes des cinq archipels. Depuis 2015, une île supplémentaire différente chaque année est ajoutée à ce suivi régulier afin de disposer de données récentes sur une autre île d'un archipel.

Après Raivavae aux Australes la première année, c'est l'île de Nuku Hiva qui a été retenue en 2016. En plus des analyses radiologiques dans les denrées produites localement, des mesures d'exposition externe ont été réalisées et des échantillons de sols ont été collectés afin d'évaluer la rémanence du plutonium et du césium-137 (^{137}Cs) issus des retombées des essais nucléaires atmosphériques.

Après une diminution régulière des niveaux de radioactivité depuis l'arrêt en 1974 des essais atmosphériques français d'armes nucléaires et après le dernier essai atmosphérique effectué par la Chine en 1980, les niveaux de radioactivité mesurés en 2016, dans la continuité des années antérieures, se situent à un niveau très bas. Cette radioactivité résiduelle est essentiellement attribuable au ^{137}Cs .

En 2016, pour les adultes de Tahiti, la dose efficace annuelle (somme des doses associées à l'exposition externe, à l'ingestion et à l'inhalation) associée à la radioactivité d'origine artificielle représente de l'ordre de 0,1 % de la dose efficace totale due à la radioactivité d'origine naturelle évaluée à $1,4 \text{ mSv.an}^{-1}$. L'exposition naturelle provient pour moitié de l'exposition externe (rayonnement cosmique et radionucléides telluriques à parts pratiquement égales) et pour moitié de l'ingestion des denrées solides dont les contributeurs majoritaires sont le ^{210}Po et le ^{226}Ra . Depuis 2010, des mesures de l'exposition externe ont été réalisées sur différentes îles des cinq archipels. On constate des niveaux d'exposition faibles, inférieurs en moyenne à $1,0 \text{ mSv.an}^{-1}$ dans les îles hautes, de l'ordre de $0,3 \text{ mSv.an}^{-1}$ dans les atolls.

Compte tenu des très faibles niveaux d'exposition par ingestion ajoutés par la radioactivité artificielle dans les denrées produites localement, l'IRSN a prélevé préférentiellement les denrées alimentaires qui concentrent le plus le césium-137. Par ailleurs, l'exposition radiologique par ingestion n'est plus évaluée avec une ration alimentaire annuelle d'une quantité établie pour les différents aliments; elle est remplacée par une évaluation de l'exposition globale de la population polynésienne à partir de la mesure d'une série de plateaux-repas collectés midi et soir à Tahiti durant cinq jours. L'avantage est que cette approche permet de mieux refléter la consommation actuelle des différents aliments, produits localement ou importés, cette consommation ayant évolué depuis l'établissement en 1982 des rations alimentaires. Un autre avantage tient au fait que limitant l'échantillonnage, des analyses complémentaires peuvent être mises en œuvre afin d'obtenir une évaluation dosimétrique plus complète intégrant la radioactivité d'origine naturelle prépondérante dans les denrées.

À la suite de l'accident de Fukushima, une surveillance radiologique renforcée de l'environnement a été mise en place pour confirmer l'absence de contamination radiologique par voie atmosphérique pendant les deux premières semaines, puis dans le milieu marin sans interruption jusqu'à nos jours. 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 japonais dans les eaux polynésiennes: aucune augmentation de ^{137}Cs par rapport aux années passées n'a été observée et le ^{134}Cs n'a jamais été décelé.

En complément du programme de surveillance radiologique, a été mise en œuvre depuis 2014 l'étude de la radioactivité d'origine artificielle dans les sols, principale voie de transfert aux aliments actuellement. Les analyses sont principalement focalisées sur le ^{137}Cs , radionucléide encore décelable dans plus d'un tiers des denrées analysées, et les isotopes 238, 239 et 240 du plutonium, peu décelables dans les denrées mais dont les concentrations dans les sols restent relativement stables dans le temps (périodes radioactives longues et faible lessivage par les eaux de pluie). Les concentrations mesurées excèdent parfois $1 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$, aussi bien pour le ^{137}Cs que pour le plutonium dans les sols des îles hautes.

ABSTRACT

The 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 of sampling regularly samples of various types in the atmospheric, terrestrial and marine environments with which the population may be in contact as well as foodstuffs. Since 1998, foodstuffs are collected in seven islands (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva and Tubuai) representing the five archipelagos. Since 2015, an additional island is included in the annual monitoring. After Raivavae (Australes archipelagos) last year, Nuku Hiva (Marquises archipelagos) was retained in 2016. In addition to radiological measurements of food samples locally produces in the two Marquises Islands, Hiva Oa and Nuku Hiva, external exposure measurements on the whole island are performed and soil samples collected to study the density deposition of plutonium and ^{137}Cs from atmospheric fallout of nuclear tests.

After a steady decrease in radioactivity levels since the cessation in 1974 of the French atmospheric nuclear tests and the last atmospheric test carried out by China in 1980, the levels of radioactivity measured in 2016 are in continuity with previous years; they are at a very low level. This residual radioactivity is mainly attributable to ^{137}Cs .

In 2016, 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 is in the order of 0.1% of the dose due to the natural exposure, less 1.4 mSv.y^{-1} . This natural exposure due about equally from the external exposure (cosmic radiation and telluric radionuclides at equal parts) and from the ingestion of solid foodstuffs which the majority contributors are ^{210}Po and ^{226}Ra . Since 2010, measures of the external exposure have been made on some islands of the five archipelagos. Exposure levels are low, averaging less than 1.0 mSv.y^{-1} for elevated highland and of the order of 0.3 mSv.y^{-1} in atolls.

Because the very low levels of exposure by ingestion of locally produced foods, the number of foodstuffs collected is now limited to the products that concentrate the most ^{137}Cs so as to have the best bioindicators to continue to observe the evolution of the concentration of this radionuclide in the environment. As a consequence, the radiological exposure by ingestion is no longer evaluated with a food ration based on an annual consumption of an amount established for the different foods; it is replaced by an assessment of the global exposure of the Polynesian population from the measurement of a series of meal trays collected in Tahiti during 5 days. There is no longer any specific assessment by archipelago and age ranges (children aged 0-5 years and adults). The advantage is a better reality of the current consumption of different foods, locally produced or imported, since it has changed considerably since the establishment in 1982 of food rations used until now for these calculations. Another advantage is that, by limiting sampling, additional analyzes can be used to obtain a more complete dose evaluation integrating the predominantly natural radioactivity in food.

After the Fukushima disaster, enhanced radiological monitoring of the environment was organized and continued in 2016 for the marine environment. The measurement results, for sea water and various pelagic fish species, do not show any impact of the contamination of the Japanese marine domain in Polynesian waters: no increase of ^{137}Cs over previous years was observed and ^{134}Cs was never detected.

A new orientation of the monitoring program was 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}Cs , a radionuclide which can be still measured in more than one thirty per cent of 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). The measured concentrations in soils of the high islands sometimes exceed 1 Bq.kg^{-1} dry both for ^{137}Cs and for plutonium.



Baies à proximité du village de Mahoe à NuKu Hiva (île de l'archipel des Marquises).

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	6
1.1	L'ANTENNE POLYNÉSIEENNE DE L'IRSN	6
1.2	PRÉSENTATION DU BILAN ANNUEL 2016	7
2	DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE ET DU MODE DE VIE DE SES HABITANTS	8
	Les îles hautes	8
	Les atolls	9
3	LOCALISATIONS ET PRÉLÈVEMENTS	10
3.1	LOCALISATIONS SÉLECTIONNÉES	10
	Les îles hautes	10
	Les atolls	11
3.2	PRÉLÈVEMENTS SÉLECTIONNÉS ET FRÉQUENCES	11
	Milieu physique	11
	Milieu biologique	11
4	NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION	12
4.1	CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS DU DOMAINE PHYSIQUE	13
	Radioactivité de l'air	13
	Radioactivité de l'eau	13
	Radioactivité dans les sols	16
4.2	CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES	23
	Milieu marin	26
	Milieu terrestre	28
5	EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE	32
5.1	SOURCES D'EXPOSITION	32
5.2	ÉVALUATION DES DOSES EFFICACES ANNUELLES EN POLYNÉSIE FRANÇAISE	33
	Dose efficace annuelle liée à l'exposition externe	33
	Dose efficace annuelle liée à l'inhalation	34
	Dose efficace annuelle liée à l'ingestion	34
	Dose efficace annuelle totale	35
6	CONCLUSION	38
7	RÉFÉRENCES	40

1 INTRODUCTION

1 1 L'ANTENNE POLYNÉSIEENNE DE L'IRSN

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

Le LESE poursuit la surveillance au titre de sa mission de veille permanente en matière de radioprotection

Aujourd'hui, la radioactivité d'origine artificielle est essentiellement due à la rémanence des retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires en Polynésie française (retombées locales/régionales) et dans le reste du monde (retombées mondiales) – ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{237}Np et isotopes du plutonium pour l'essentiel – à laquelle s'ajoutent les retombées en ^{238}Pu issu de la désintégration du réacteur SNAP-9A en 1964 [7, 15] :

- la part de ces radionucléides se retrouvant dans l'air sous forme d'aérosols est aujourd'hui négligeable,
- la plupart se retrouvent 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 (coprah, poissons, eau de coco, lait et viande de bœuf...) et constituent ainsi une source de contamination par ingestion.

Focalisée sur 7 îles sélectionnées depuis 1998 pour être représentatives des 5 archipels de la Polynésie française auxquelles s'ajoutent une île supplémentaire différente chaque année depuis 2015, la surveillance consiste à prélever régulièrement et à mesurer la radioactivité des échantillons de nature variée (air, eau, sol, denrées alimentaires...).

En marge de cette surveillance régulière, des études ponctuelles peuvent être réalisées pour répondre aux interrogations de la population.

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 l'IRSN à infléchir progressivement sa stratégie de surveillance. Ainsi, son réseau de mesures à vocation initialement sanitaire a été réorienté 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 donc été réduite par rapport aux années précédentes au profit d'analyses radiologiques de sols et de la réalisation de cartographies de débits de dose ambiants dans différentes îles.

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.

1 2 PRÉSENTATION DU BILAN ANNUEL 2016

Appui aux pouvoirs publics en situation de crise

Le faible nombre d'installations nucléaires dans l'hémisphère sud, éloignées des territoires français du Pacifique, rend très improbable une situation de crise radiologique. Cependant, en cas d'accident nucléaire grave, un contrôle de son impact sur la Polynésie, même très faible, doit être effectué. Ainsi, en mai 2011, l'IRSN a renforcé ses contrôles pour s'assurer de l'absence d'impact radiologique par voie atmosphérique en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie pendant les semaines suivant 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. La surveillance se poursuit toujours sur les poissons pélagiques qui pourraient véhiculer des traces de radioactivité lors de leurs migrations du Pacifique nord vers le sud ainsi que sur l'eau de mer pour y déceler une éventuelle signature de l'accident.

Dans ce rapport, le chapitre 2 présente une description sommaire de la Polynésie française.

Le chapitre 3 présente les zones de prélèvements et les prélèvements effectués dans le domaine physique (air, eau et sol) ainsi que dans les milieux marin et terrestre pour ce qui concerne les denrées et les boissons.

Les niveaux de la radioactivité des échantillons analysés en 2016 sont présentés dans le chapitre 4.

L'exposition radiologique de la population en 2016 est discutée dans le chapitre 5.

Le chapitre 6 résume les principaux résultats de l'année 2016.

Une annexe à ce rapport [1], consultable sur le site internet de l'IRSN (www.irsn.fr), présente de façon plus exhaustive les résultats de l'année 2016 :

- les niveaux d'activité dans les échantillons du milieu physique ;
- les niveaux d'activité dans les échantillons du domaine biologique ;
- les niveaux d'activité des radionucléides d'origines artificielle et naturelle dans les plateaux-repas ;
- les débits de doses externes mesurés en 2016 sur les îles de Nuku Hiva et d'Hiva Oa ;
- les résultats de calcul de dose pour l'ingestion basés sur des plateaux-repas prélevés durant 5 jours.

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

La Polynésie française représente dans le Pacifique sud une surface de 5 millions de kilomètres carrés d’océan pour une superficie de terres émergées d’environ 3500 km². Elle est constituée de 118 îles, hautes et atolls, regroupées en cinq archipels : Société, Tuamotu, Gambier, Australes et Marquises. Seules 76 îles sont habitées et l’essentiel de la population vit sur l’île de Tahiti (70 %). La population compte moins de 270 000 habitants (recensement d’août 2012 [2]).

Le climat polynésien est tropical et humide, sans excès. Les températures moyennes annuelles sont modérées (21 à 28 °C) et les contrastes thermiques saisonniers faibles. Les précipitations moyennes sont élevées sans être excessives, 1800 à 2000 mm par an. L’ensoleillement est important, 250 h par mois à Tahiti (côte ouest). Ces conditions 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** (Figure 1) 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.



Figure 1. Village de Rikitea à Mangareva, île haute des Gambier.



Figure 2.
Atoll de Rangiroa (Tuamotu).

- 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 (Figure 2) 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.



Déchargement d'un cargo à Rangiroa (Tuamotu).



Séchage de la chair de coco pour obtenir le coprah.

3 LOCALISATIONS ET PRÉLÈVEMENTS

3 1 LOCALISATIONS SÉLECTIONNÉES

Des prélèvements d'air et d'eau ont été réalisés à **Tahiti**. En 2016, des prélèvements de sols ont été effectués à **Hiva Oa** et à **Nuku Hiva** (Marquises).

L'échantillonnage dans le domaine biologique concerne depuis 1998 sept îles représentatives des cinq archipels. Le choix de ces îles répond à plusieurs impératifs :

- couvrir géographiquement l'ensemble du territoire de la Polynésie française, presque 3000 km d'est en ouest et 2000 km du nord au sud ;
- tenir compte des deux catégories d'îles (hautes/atolls) ;
- tenir compte de la démographie en retenant les îles les plus peuplées ;
- tenir compte de la position des deux atolls de Moruroa et Fangataufa, supports des essais nucléaires atmosphériques français de 1966 à 1974.

Les îles hautes

- **Tahiti** (183 645 habitants [2]) et **Maupiti** (1 234 habitants [2]) de l'archipel de la Société. Maupiti est retenue en plus de Tahiti car c'est l'île de l'archipel qui est la plus éloignée des sites d'essais français ;
- **Mangareva** (1 239 habitants [2]) de l'archipel des Gambier ;
- **Tubuai** (2 173 habitants [2]) de l'archipel des Australes ;
- **Hiva Oa** (2 184 habitants [2]) de l'archipel des Marquises.

Depuis 2015, une île supplémentaire différente chaque année est ajoutée à ce suivi régulier afin de disposer de données récentes sur une autre île d'un archipel. **Nuku Hiva** (2 966 habitants [2]) est l'île retenue en 2016 en complément de Hiva Oa aux Marquises.

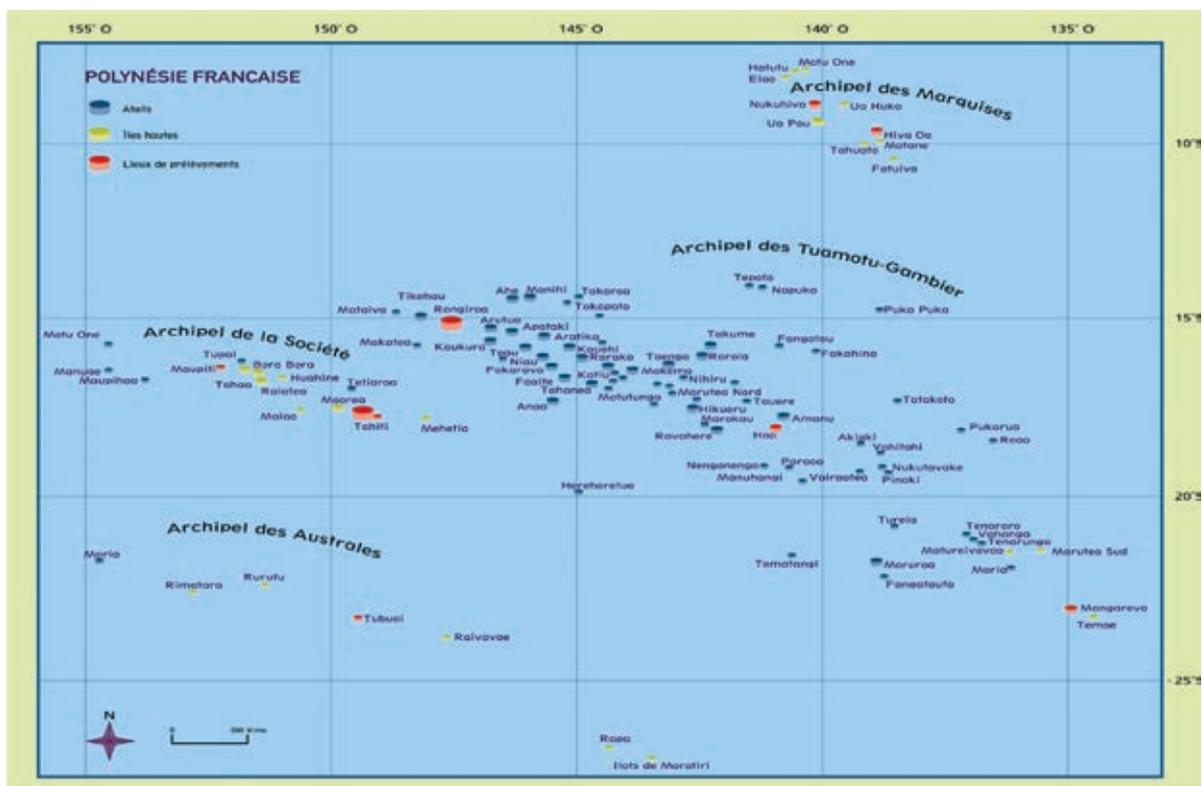


Figure 3. Position des huit îles de Polynésie française retenues dans le programme de surveillance radiologique de 2016.

Les atolls

Rangiroa (2401 habitants [2]) et **Hao** (1077 habitants [2]) de l'archipel des Tuamotu. Hao est retenu 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 huit îles retenues dans le programme de surveillance radiologique biologique en 2016 sont indiquées sur la carte de la Figure 3.

Les échantillons de Tahiti 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 six correspondants permanents pour les îles faisant l'objet d'un suivi régulier et par un correspondant ponctuel pour l'île supplémentaire de Nuku Hiva.

3 2

PRÉLÈVEMENTS SÉLECTIONNÉS ET FRÉQUENCES

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

- suivre l'évolution des niveaux de la radioactivité d'origine artificielle dans l'environnement et dans les denrées alimentaires ;
- estimer l'exposition radiologique des populations ;
- effectuer les inventaires des dépôts surfaciques du ^{137}Cs et du plutonium consécutifs aux retombées des essais nucléaires atmosphériques.

Milieu physique

Il s'agit de prélèvements d'aérosols de l'air, d'eau de mer et d'eaux douces (pluie, source, rivière). Les fréquences des prélèvements ont été revues à la baisse en 2010-2011 [3] et sont depuis maintenues (les prélèvements d'aérosols sont mensuels, les prélèvements d'eau de pluie sont semestriels et les prélèvements des autres eaux douces sont annuels). Les prélèvements d'eau de mer ont une fréquence bimestrielle afin d'observer un éventuel marquage en césium suite à l'accident de Fukushima.

Depuis 2014, s'ajoutent des prélèvements de sols. Cette étude planifiée sur plusieurs années, cible une à deux îles par an avec quatre à cinq sites de prélèvements sur chacune.

Milieu biologique

Il s'agit de prélèvements de denrées alimentaires locales (boissons, viandes, légumes feuilles, légumes fruits, légumes racines, fruits, poissons pélagiques, poissons de lagon, bénéitiers et chevrettes) complétés par quatre produits importés.

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 l'IRSN à adapter ses plans de prélèvements. Les constats réalisés ces dernières années montrent en effet que pour une proportion relativement importante d'échantillons, les teneurs en ^{137}Cs ne sont plus quantifiables malgré les protocoles d'analyse les plus performants dans le domaine de la mesure des traces. Seules quelques denrées communes à plusieurs îles ont été conservées comme bioindicateurs (cf. chapitre 4.2) dans les différents milieux afin d'observer l'évolution temporelle de la concentration en ^{137}Cs et d'observer un éventuel marquage en césium suite à l'accident de Fukushima.

LES ÉTUDES PONCTUELLES EN 2016

En complément du suivi annuel régulier, trois études spécifiques ont été effectuées en 2016 pour mieux répondre aux préoccupations de la société civile :

- une étude sur un lot de poissons de lagon pêchés à Hao (Tuamotu) pour évaluer la concentration du plutonium dans d'autres fractions (hépatopancréas, arêtes, viscères) que la chair en cas d'une éventuelle ingestion ;
- un contrôle de la radioactivité artificielle à proximité de la zone « Vautour » à Hao (Tuamotu) visant à vérifier l'absence de déplacement horizontal vers le lagon du plutonium situé sous les dalles de béton ;
- une vérification de la non-contamination d'un lot de mollusques marins importés du Japon.

4 NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION

En 2016, le nombre total de prélèvements est de **217** :

- **198** prélèvements (31 pour le domaine physique et 167 pour le domaine biologique) dans le cadre du constat annuel relatif aux 8 îles ;
- **10** prélèvements de plateaux-repas et **4** d'eaux de boisson pour l'évaluation de la dose due à l'ingestion ;
- **1** lot de poissons de lagon provenant de l'atoll de Hao pour établir la répartition du plutonium dans différentes parties de l'organisme ;
- **3** échantillons de sol à Hao dans le cadre de la surveillance de la zone « Vautour » ;
- **1** échantillon de noix de Saint-Jacques dans le cadre d'un contrôle réglementaire sur les produits importés en provenance du Japon [4].

Le LESE dispose d'équipements dédiés à la mesure directe non destructive par spectrométrie gamma (γ) (Figure 4) ou après radiochimie sélective par spectrométrie alpha (α) (Figure 5). La spectrométrie γ est employée pour mesurer simultanément un très grand nombre de radionucléides d'origines artificielles et naturelles. La spectrométrie α , destinée à quantifier le plutonium (Pu), permet de distinguer l'isotope 238 de la somme des isotopes 239 et 240 . En effet, 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 (préparations, chimies, mesures) mis en œuvre sont particulièrement adaptés à la recherche de **traces de radioactivité artificielle** dans l'environnement.

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

- des analyses γ des prélèvements d'aérosols effectuées par le laboratoire IRSN/SAME/LMRE d'Orsay dans l'Essonne (91) qui dispose d'une installation de mesure souterraine à Modane (Savoie), apte à mesurer les traces de ^{137}Cs dans les aérosols de Polynésie française, et ;
- d'une partie des analyses des prélèvements de plateaux-repas et des eaux de boisson par les laboratoires IRSN/SAME d'Orsay et du Vésinet complétant celles réalisées localement pour l'estimation de la dose par ingestion (^{90}Sr , ^3H , ^{14}C , U isotopique, ^{210}Po , ^{226}Ra).



Figure 4. Spectromètre γ Ge HP bas bruit de fond équipé d'un veto cosmique (^{137}Cs , ^{60}Co ...).



Figure 5. Spectromètre alpha (^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$).

4 1

CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS DU DOMAINE PHYSIQUE

Radioactivité de l'air

Les prélèvements d'aérosols sont réalisés par filtration de l'air en continu durant la première décade de chaque mois à Tahiti avec une station à grand débit d'aspiration, environ 300 m³/h (Figure 6).

Le tableau 1 présente les concentrations moyennes annuelles dans les aérosols des ¹³⁷Cs, ⁷Be, ²²Na, ⁴⁰K et ²¹⁰Pb, à Tahiti et à Orsay, pour ces trois dernières années. Les concentrations mensuelles de 2016 ainsi que les volumes d'air filtrés sont fournis dans les tableaux AI-1 et AI-2 du rapport Annexes [1].

Le seul radionucléide artificiel émetteur γ encore détectable dans les aérosols en Polynésie française est le ¹³⁷Cs. 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 0,10 $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,0000001 Bq·m⁻³) et la moyenne annuelle est comparable à celle des années précédentes. La valeur moyenne annuelle à Orsay en 2016 reste environ deux fois plus élevée que celle de Tahiti car l'injection de radioactivité dans la haute atmosphère de l'hémisphère nord a été plus importante que dans l'hémisphère sud et parce que la remise en suspension de poussières des sols en milieu continental est plus élevée que celle dans les îles en milieu océanique.

Les quatre radionucléides d'origine naturelle mesurés dans les aérosols proviennent des hautes couches (⁷Be, ²²Na) et des basses couches (⁴⁰K, ²¹⁰Pb) de l'atmosphère.



Figure 6. Prélèvement d'aérosols à Vairao (presqu'île de Tahiti).

Radioactivité de l'eau

L'eau de mer

Les prélèvements d'eau de mer ont été effectués tous les deux mois dans le lagon de Vairao à Tahiti. La mesure nécessite un passage sur une cartouche filtrante de ferrocyanure de cuivre d'un volume d'eau compris entre 151 L et 165 L, la concentration moyenne du ¹³⁷Cs est de $0,94 \pm 0,03 \text{ mBq}\cdot\text{L}^{-1}$.

Tableau 1. Concentrations moyennes annuelles ($\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) de 2014 à 2016 pour les cinq radionucléides détectés dans les aérosols prélevés à Tahiti et à Orsay (Essonne). Ces moyennes annuelles sont calculées à partir des concentrations mensuelles mesurées pondérées des volumes d'air filtrés.

Radionucléides	Concentrations moyennes annuelles ($\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)					
	Tahiti (Vairao)			Métropole (Orsay 91)		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Artificiels						
¹³⁷ Cs	0,06 ± 0,04	0,06 ± 0,03	0,06 ± 0,03	0,10 ± 0,04	0,13 ± 0,05	0,10 ± 0,03
Naturels						
⁷ Be	2 470 ± 730	3 100 ± 900	2 980 ± 800	3 300 ± 500	3 400 ± 500	2 700 ± 450
²² Na	0,23 ± 0,11	0,27 ± 0,11	0,28 ± 0,12	0,33 ± 0,09	0,34 ± 0,09	0,26 ± 0,08
⁴⁰ K	6,0 ± 2,1	6,7 ± 2,2	7,2 ± 2,4	6,7 ± 1,4	7,8 ± 1,6	7,9 ± 1,7
²¹⁰ Pb	70 ± 20	89 ± 25	87 ± 24	380 ± 60	410 ± 60	295 ± 49

CHRONIQUE : CONCENTRATION DU ^{137}Cs DANS L'EAU DE MER DE LA ZEE (ZONE ÉCONOMIQUE EXCLUSIVE) DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE DE 1983 À 2016

de profondeur sur deux sites dans le lagon de Tahiti (Société) (Tableau 2). La diminution de la concentration du ^{137}Cs observée sur cette période de plus de 30 ans, avec une période apparente de 19 ans, correspond essentiellement à sa décroissance radioactive ($T = 30,1$ ans) et à la dispersion de ce radionucléide dans la masse océanique. La similitude des teneurs en ^{137}Cs mesurées dans les eaux océaniques au large de Moruroa et à Tahiti indique que la dilution de ce radionucléide dans l'océan ne permet plus 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 mesurées ces dernières années révèlent aussi une relative homogénéité du ^{137}Cs dans l'eau de mer à l'échelle du pacifique Sud [5, 6].

L'évolution de la concentration du ^{137}Cs depuis 1983 est représentée sur la Figure 7. Les données ont été obtenues pour des échantillons prélevés dans l'océan, à 10 m ou 1,5 m de profondeur, au large de deux îles des Tuamotu, au large de Moruroa en 2014-2015, et d'une île de la Société et en lagon à 1,5 m

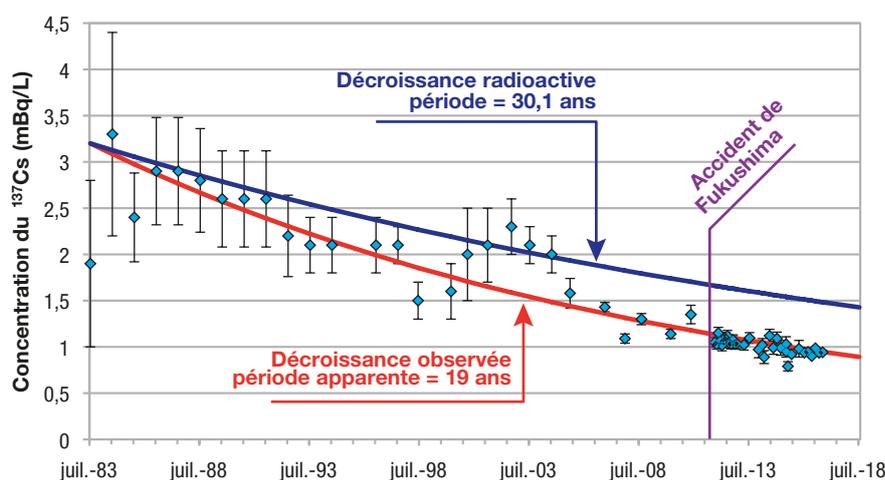


Figure 7. Concentration du ^{137}Cs ($\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$) dans l'eau de mer océanique ou lagonaire de la ZEE de la Polynésie française de 1983 à 2016.

Tableau 2. Caractéristiques des prélèvements d'eau de mer effectués entre 1983 et 2016. La réduction des volumes prélevés depuis une dizaine d'année est liée à l'amélioration de la sensibilité des mesures.

Période	Localisation	Océan/Lagon	Profondeur (m)	Volume prélevé (L)	Fréquence des prélèvements
1983	Tahiti	Océan	10	750	Annuelle
1984	Hao	Océan	10	750	Annuelle
1985 à 1994	Tahiti	Océan	10	750	Annuelle
1996	Rangiroa	Océan	10	750	Annuelle
1997 à 2005	Tahiti	Océan	1,5	750	Annuelle
2006 à 2008	Tahiti (Mahina)	Lagon	1,5	750	Annuelle
Depuis 2009	Tahiti (Vairao)	Lagon	1,5	250	Annuelle à mensuelle
2014 et 2015	Moruroa	Océan	1,5	100	Annuelle

Les eaux douces

Le ^{137}Cs n'a pas été détecté dans l'eau de pluie collectée en continu sur l'année à Vairao (presqu'île de Tahiti) (Figure 8), ni dans le prélèvement ponctuel d'eau de source réalisé à Toahotu (presqu'île de Tahiti). Par contre il a été détecté dans l'eau de rivière prélevée ponctuellement à Faaone (côte est de Tahiti) (Figure 9) à une teneur de $0,23 \pm 0,02 \text{ mBq.L}^{-1}$ (Tableau AI-3 [1]). Ce résultat est peu différent de celui obtenu en 2014 dans l'eau de la vallée de la Faatautia (Hitiaa, côte est de Tahiti) et dans ceux obtenus entre 2009 et 2013 dans l'eau prélevée dans la vallée de Teahupoo (presqu'île de Tahiti) et les années antérieures dans l'eau de la Papenoo au nord de Tahiti.



Figure 8. Collecteur d'eau de pluie à Vairao (presqu'île de Tahiti). Les analyses de l'eau de pluie, de fréquence mensuelle jusqu'en 2009, sont faites semestriellement depuis 2010 tout en conservant la continuité du prélèvement mais en réduisant la surface de collecte.



Figure 9. Prélèvement d'eau de rivière à Faaone (côte est de Tahiti).

Radioactivité dans les sols

En 2016, les sols de 9 sites (Figure 10) ont été échantillonnés dans deux îles des Marquises (Hiva Oa et Nuku Hiva) situées à environ 1 000 km des sites des essais nucléaires français de Moruroa et Fangataufa et à 1 500 km des sites des essais britanniques aux îles Malden. Les sols ont été prélevés par carottage jusqu'à 15 cm de profondeur à Nuku Hiva, profondeur limitée par la présence importante de roches, et jusqu'à 30 cm de profondeur à Hiva Oa.

Trois carottages de 8 cm de diamètre (Figure 11) ont été effectués pour chacun des sites, sauf pour le site Nh3 où un seul carottage a pu être réalisé et pour le site Nh4 où le prélèvement a été effectué à la spatule pour une aire de 15 x 15 cm² par tranches de 2 cm d'épaisseur jusqu'à 10 cm de profondeur et une dernière tranche de 5 cm d'épaisseur

entre 10 et 15 cm de profondeur. Les carottes des mêmes sites ont été regroupées après avoir 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. Les échantillons ont été séchés à 60 °C en étuve et concassés avec un broyeur à bille après avoir ôté racines et cailloux grossiers afin d'obtenir un échantillon homogène dont les particules étaient inférieures à 0,2 mm (Figure 12). Le ¹³⁷Cs et les radionucléides d'origine naturelle émetteurs gamma (⁴⁰K, ⁷Be, ²³⁴Th, ²¹⁴Pb, ²¹⁰Pb...) ont été mesurés sur les échantillons secs par spectrométrie gamma. Une fraction des échantillons a été calcinée à 550 °C pour établir, après préparation radiochimique, les concentrations en plutonium par spectrométrie alpha. Les caractéristiques des prélèvements et l'ensemble des résultats d'analyse sont indiqués en annexe (Tableau AI-4 à AI-23 [1]).



Figure 10. Localisations des sites de prélèvement des sols à Hiva Oa (à gauche) et à Nuku Hiva (à droite). Les croix indiquent les sols non exploitables pour cette étude (cf. texte).



Figure 11. Trois prélèvements, sauf pour les sites Nh3 et Nh4 (cf. texte), sont réalisés pour chacun des sites de Nuku Hiva et de Hiva Oa à l'aide d'un carottier de 15 cm de longueur et de 8 cm de diamètre.

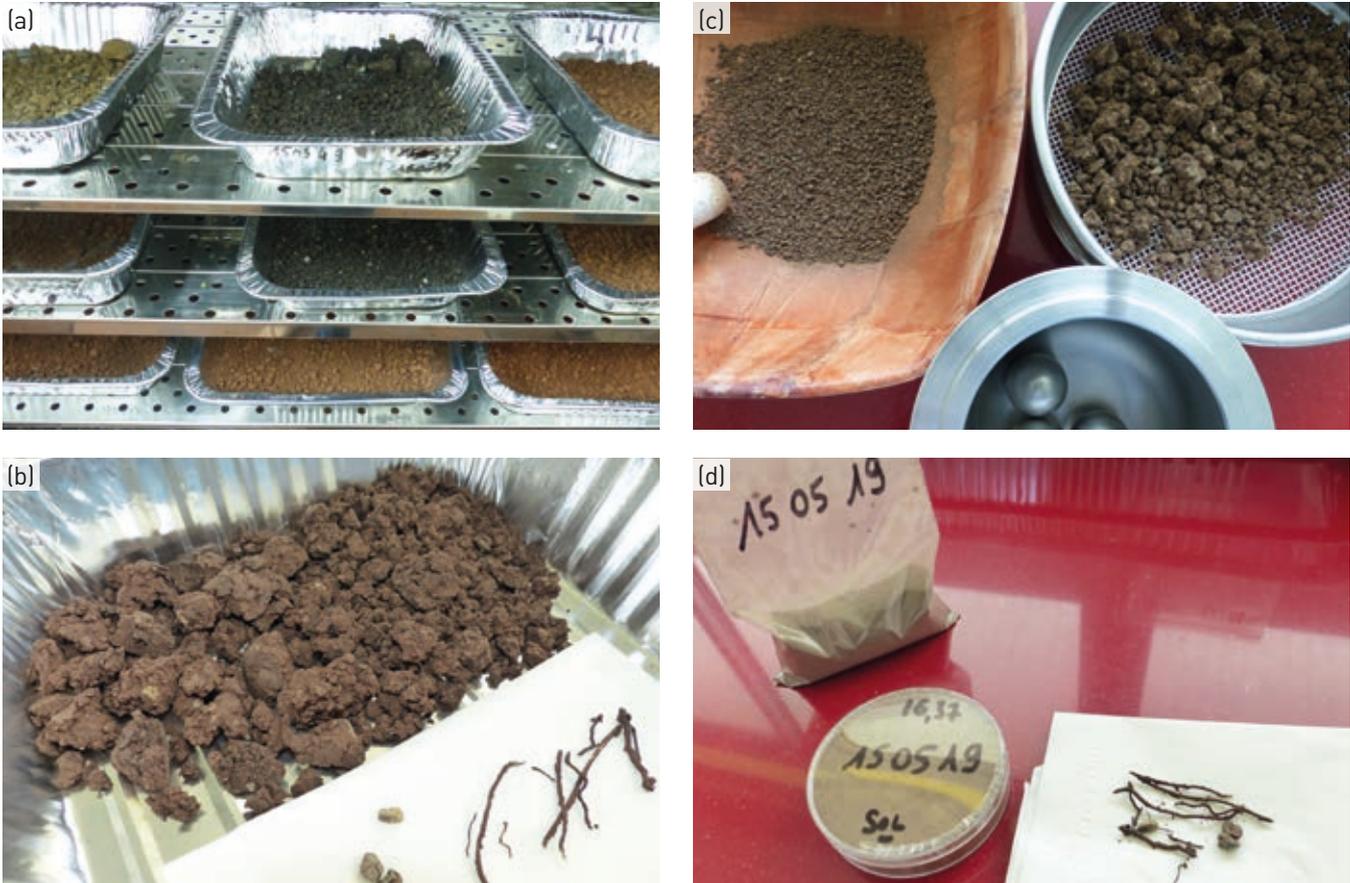
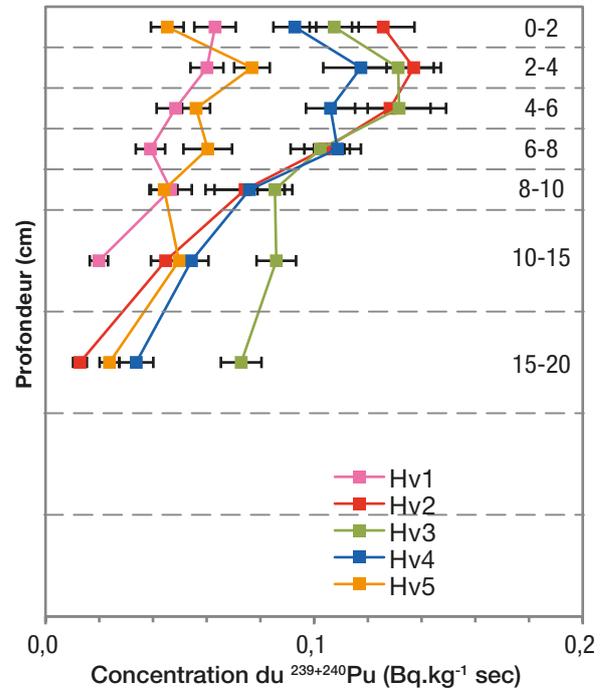
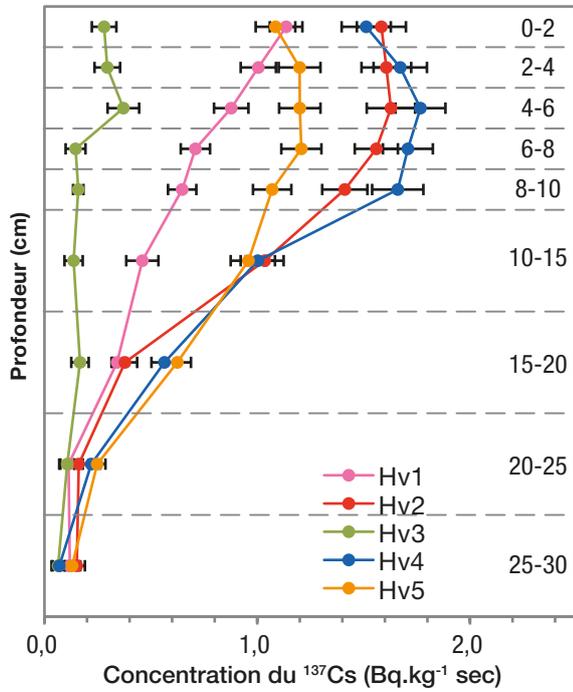


Figure 12. (a) Séchage en étuve, (b) cailloux et racines ôtées avant (c) broyage et tamisage (d) en vue de la mesure alpha d'une partie de l'échantillon (en sachet) et de l'autre partie (boîte cylindrique) par spectrométrie gamma.

La faible concentration du ^{137}Cs et du Pu sur toute la profondeur du sol du site Nh3 (Figure 13) indique que ce site a été remanié et les résultats ne peuvent pas être exploités. Les résultats pour le site Hv3 ne peuvent non plus pas être exploités à cause de teneurs anormalement basses en ^{137}Cs , environ 4 à 5 fois plus faibles que pour les quatre

autres sites, alors que les teneurs en Pu sont similaires. On constate pour le ^{40}K , analogue chimique du césium, des teneurs inférieures à 10 Bq/kg sec indiquant une faible rétention du césium et du potassium dans ce sol. Ces faibles rétentions ne sont pas expliquées à ce jour.

Hiva Oa



Nuku Hiva

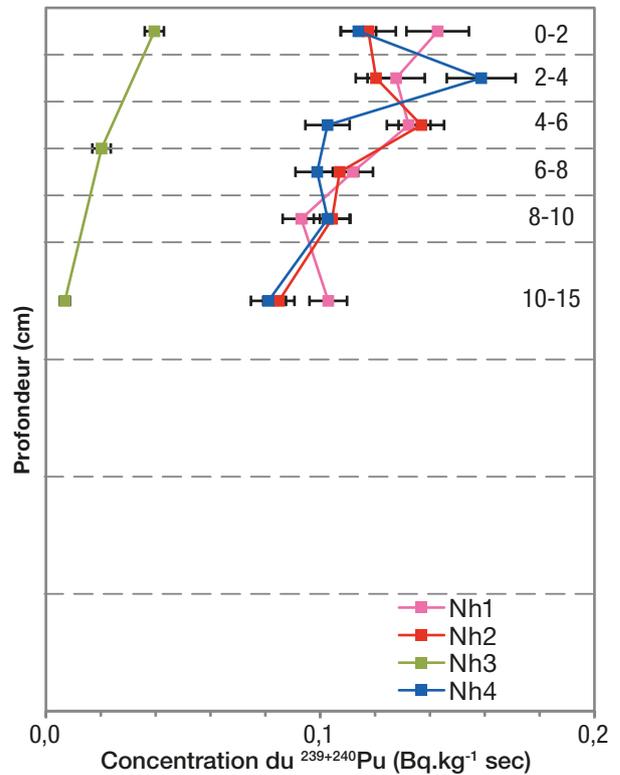
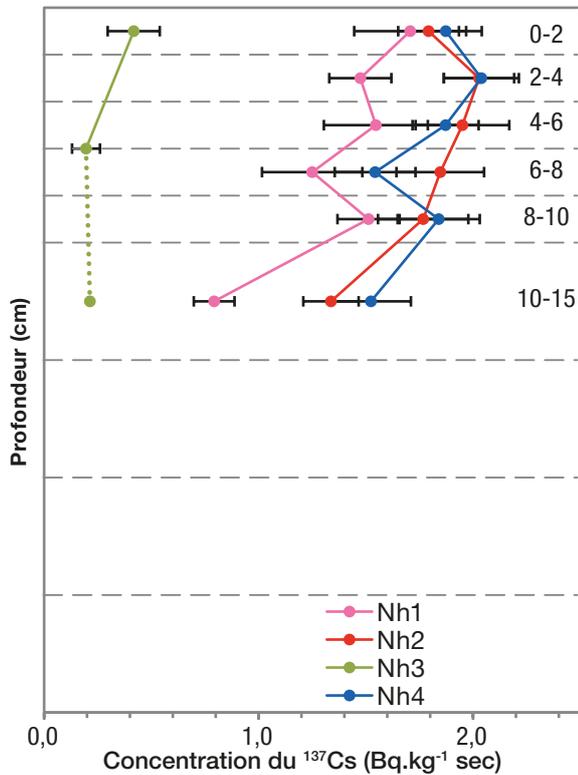


Figure 13. Concentration du ^{137}Cs et du $^{239+240}\text{Pu}$ (en $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) en fonction de la profondeur des sols des 9 sites répartis sur Hiva Oa et Nuku Hiva (Figure 10).

Activités du césium-137

Pour chaque site, la concentration du ^{137}Cs dans le sol est plus élevée dans les premiers centimètres sous la surface et décroît ensuite avec la profondeur. Dans les 6 premiers centimètres, les teneurs sont un peu plus élevées à Nuku Hiva qu'à Hiva Oa. Les profondeurs échantillonnées, limitées à 15 cm pour les sols de Nuku Hiva, sont insuffisantes pour évaluer la répartition du ^{137}Cs par extrapolation au-delà de cette profondeur. En revanche, avec des échantillonnages jusqu'à 30 cm de profondeur à Hiva Oa, l'affaiblissement de la concentration est bien décrit par une fonction exponentielle permettant d'établir par extrapolation que plus de la moitié du ^{137}Cs déposée au sol est encore située dans les 10 premiers centimètres sous la surface du sol et que plus de 94 % est contenue dans les 30 premiers centimètres (Tableau 3) [7]. Si on considère que la médiane du dépôt en ^{137}Cs se situe en 1964, il y a 54 ans [8], la vitesse de migration verticale de ce radionucléide dans les sols de Hiva Oa est inférieure à 2 mm par an, proches de celles rapportées pour les sols des régions tempérées de l'hémisphère nord [9].

Activités du plutonium

La concentration, en $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{sec}$, du $^{239+240}\text{Pu}$ est 10 à 20 fois plus faible que celle du ^{137}Cs mais l'évolution de leurs concentrations en fonction de la profondeur est très similaire. C'est le cas aussi avec le ^{238}Pu dont l'activité est environ 10 fois plus faible que celle du $^{239+240}\text{Pu}$. Des profils de migration similaires du césium et du plutonium, ont été observés dans des sols de nature variée [10, 11]. Comme pour le ^{137}Cs , la profondeur de l'échantillonnage, 15 cm, est insuffisante pour extrapoler la concentration du Pu en profondeur dans les sols de Nuku Hiva. L'affaiblissement de la concentration jusqu'à 20 cm de profondeur (15 cm pour le site Hv1) dans les sols de Hiva Oa est bien décrit par une fonction exponentielle qui permet d'établir que 45 % de l'activité pour le site Hv5 et plus de 60 % pour les 3 autres sites est contenue dans les 10 premiers centimètres de sol et que 74 à 96 % est située dans les 20 premiers centimètres (Tableau 4). Comme pour le ^{137}Cs la vitesse de migration verticale du plutonium dans les sols de Hiva Oa est inférieure à 2 mm par an, valeur basse dans la gamme des vitesses, 1-10 mm par an, établies dans différentes régions du globe [12, 13, 14].

Tableau 3. Répartition (en %) en fonction de la profondeur de l'activité du ^{137}Cs pour quatre sites (Fig. 10) de Hiva Oa.

Profondeur	Proportion (%) de l'activité du ^{137}Cs			
	Hv1	Hv2	Hv4	Hv5
0 – 6 cm	41	39	38	32
0 – 10 cm	59	63	63	52
10 – 15 cm	16	21	19	22
15 – 30 cm	19	14	16	23
30 cm - ∞	6	2	2	3
Total	100	100	100	100

Tableau 4. Répartition (en %) en fonction de la profondeur de l'activité du $^{239+240}\text{Pu}$ et du ^{238}Pu pour quatre sites (Figure 10) de Hiva Oa.

Profondeur	Proportion (%) de l'activité du $^{239+240}\text{Pu}$ et du ^{238}Pu							
	Hv1		Hv2		Hv4		Hv5	
	$^{239+240}\text{Pu}$	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$	^{238}Pu
0 – 6 cm	43	36	53	53	38	63	28	37
0 – 10 cm	65	65	77	76	60	75	45	56
10 – 15 cm	13	8	15	16	16	15	20	15
15 – 20 cm	NM**	NM**	4	4	10	3	9	11
20 cm - ∞*	22	27	4	4	14	7	26	18
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

* 15 cm - ∞ pour Hv1. ** NM : non mesuré.

Rapports d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$

Les rapports d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ sont proches de 0,1 pour l'ensemble des sites des deux îles. Cette valeur est bien supérieure au rapport 0,016 [7, 15] due aux retombées globales dans l'hémisphère sud des essais nucléaires atmosphériques effectués dans les deux hémisphères. Plus de 80 % du ^{238}Pu déposé sur les sols de Hiva Oa et de Nuku Hiva ne provient pas des retombées des essais mais à la destruction du réacteur nucléaire SNAP-9A, équipant un satellite américain, en 1964 à 50 km d'altitude au-dessus de l'océan Indien. 20 % des 600 TBq (1 TBq = 10^{12} Bq = 1 000 milliards de becquerels) de ^{238}Pu constituant ce réacteur satellitaire sont retombés dans l'hémisphère nord et 80 % dans l'hémisphère sud.

Inventaire du ^{137}Cs et du $^{239+240}\text{Pu}$

Les inventaires des retombées radioactives à Hiva Oa en 2016 sont de $236 \pm 11 \text{ Bq.m}^{-2}$ en ^{137}Cs et de $12,1 \pm 1,5 \text{ Bq.m}^{-2}$ en $^{239+240}\text{Pu}$ [7]. Ils n'ont pas été établis à Nuku Hiva à cause de la trop faible profondeur échantillonnée. Ces résultats sont cohérents avec les inventaires effectués aux mêmes latitudes au Brésil [16] ou en Patagonie à 60° S [30], en accord avec les évaluations de l'UNSCEAR indiquant des dépôts identiques pour ces deux gammes de latitudes (cf. encadré « Rémanence »). Ces résultats indiquent que les radionucléides de relativement longues périodes radioactives que sont le ^{137}Cs et les isotopes du Pu, déposés au sol à Hiva Oa, proviennent principalement des retombées mondiales (origine stratosphérique). Cette origine stratosphérique des radionucléides rémanents dans les sols est observée dans l'hémisphère nord avec des valeurs bien plus élevées. Par exemple, pour 50 sites (Montagne noire et Savoie) en France métropolitaine, les inventaires (en 2004-2006) sont compris entre 1 619 et $8 686 \text{ Bq.m}^{-2}$ pour le ^{137}Cs et entre 49 et 150 Bq.m^{-2} en $^{239+240}\text{Pu}$ [17]. Des valeurs similaires ont été établies sur l'ensemble de l'Irlande dans les années 1990, $1 460 - 6 246 \text{ Bq.m}^{-2}$ en ^{137}Cs et $33 - 127 \text{ Bq.m}^{-2}$ en $^{239+240}\text{Pu}$ [18].

La rémanence de la radioactivité dans ces sols est plus élevée que dans ceux de l'hémisphère sud car environ 90 % des radionucléides ont été injectés dans l'atmosphère de l'hémisphère nord et seule une fraction a été transférée dans l'atmosphère de l'hémisphère sud [8].

RÉMANENCE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES SOLS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

La radioactivité d'origine artificielle dans l'atmosphère, inférieure à $0,1 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ pour le ^{137}Cs , contribue actuellement très faiblement à la contamination des denrées d'origine terrestre en Polynésie française.

La principale voie de transfert est racinaire : le sol contient encore une fraction des retombées radioactives des essais nucléaires atmosphériques anciens. N'ayant que quelques données anciennes éparses sur les teneurs en radionucléides artificiels à vie longue dans les sols de Polynésie française, une étude programmée sur plusieurs années a été initiée en 2014 pour établir les concentrations du ^{137}Cs et des isotopes du plutonium dans les sols, leurs vitesses de migration verticale et les dépôts surfaciques. Les analyses concernées par cette étude sont la spectrométrie γ bas bruit de fond et la spectrométrie α pour les isotopes du Pu.

Les sites de prélèvement ont été choisis afin de disposer d'un échantillonnage permettant de reconstituer au mieux les niveaux d'activités au sol issus des retombées pour chacune des îles dans des zones accessibles mais distantes des routes et des habitations.

Les poussières radioactives injectées dans l'atmosphère se sont déposées au sol depuis les années 1950.

La Figure 14 illustre la variation dans le temps de l'intensité des dépôts cumulés avec la latitude [8] corrigée de ladécroissance radioactive du ^{137}Cs ($T=30$ ans). L'inventaire effectué dans les sols de Raivavae (aux Australes) en 2014, corrigé de la décroissance en 2016, et celui de Hiva Oa (aux Marquises) en 2016 sont indiqués. Ces résultats sont en bon accord avec les valeurs estimées par l'UNSCEAR [7,8] dans les bandes de latitude $0-10^\circ\text{S}$ / $10-20^\circ\text{S}$ et $20-30^\circ\text{S}$ pour Hiva Oa (10°S) et Raivavae (24°S) respectivement. Ils indiquent que les éléments de longues périodes comme le ^{137}Cs et les isotopes du Pu sont en grande partie d'origine stratosphérique [7].

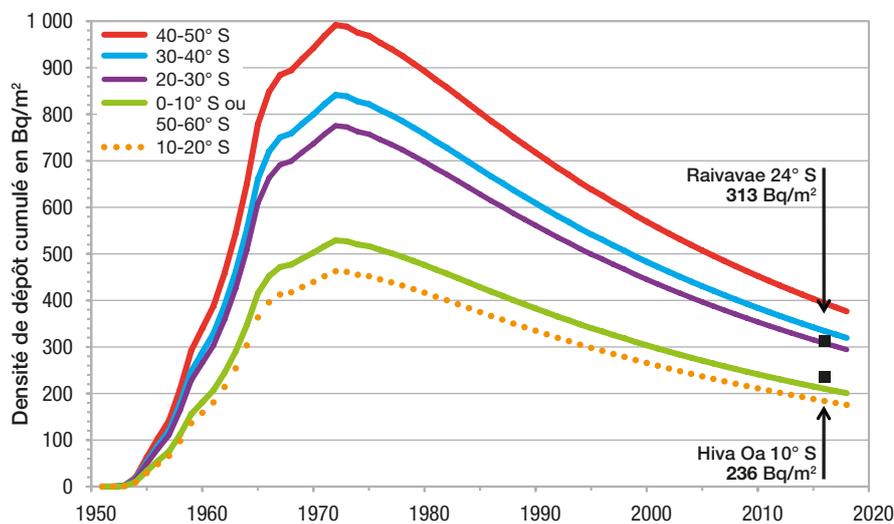


Figure 14. Dépôts cumulés du ^{137}Cs sur les sols en fonction de la latitude pour l'hémisphère sud depuis les années 1950 (UNSCEAR [8]) et résultats des inventaires effectués à Raivavae en 2014 et à Hiva Oa en 2016.

CONTRÔLE RADIOLOGIQUE ANNUEL DE LA ZONE « VAUTOUR » À HAO



Figure 15. Décontamination des avions sur la zone « Vautour » de Hao dans les années 1970.

La commission d'information auprès des anciens sites d'expérimentation nucléaires du Pacifique du 5 décembre 2015, présidée par le Haut-Commissaire de la République, a demandé que l'IRSN effectue un contrôle radiologique régulier du sol de la zone extérieure à la dalle afin de vérifier que la teneur en Pu n'évolue pas.

Une excavation d'un mètre de profondeur à trois mètres des dalles a été effectuée le 12 septembre 2016 (Figure 16). L'échantillonnage a été fait pour trois horizons : 0-30 cm, 30-60 cm et 60-100 cm pour des mesures différées en laboratoire, spectrométrie gamma (^{137}Cs et ^{241}Am) et alpha (Pu). L'ensemble des résultats est présenté dans les tableaux AI-24 et AI-25 [1].

Comparaison des résultats de 2016 avec ceux de 2014 effectués dans la même zone à 3 m des dalles

Les trois mesures de 2014 concernaient des prélèvements effectués entre la surface et 10 cm de profondeur (Hao-69, Hao-70 et Hao-71). Les résultats en ^{137}Cs et en Pu total (somme des activités des isotopes 238, 239 et 240) pour ces trois échantillons et ceux de l'échantillon de surface (0-30 cm, Hao-72-a) sont comparables. La faible radioactivité artificielle décelée, ^{137}Cs et isotopes du plutonium, est comparable à celle décelée en 2014. Il n'y a pas d'évolution de la teneur en plutonium à l'endroit mesuré à l'extérieur des dalles après 2 années.

Durant la période des essais nucléaires atmosphériques entre 1966 et 1974, les avions (en particulier ceux de type vautour) utilisés pour faire des relevés dans les nuages radioactifs étaient décontaminés sur une zone spécifique, constituée de deux cents dalles de béton jointives, en bout de la piste d'atterrissage de Hao (Figure 15).

Des séries d'échantillonnages ont été effectuées par l'IRSN entre 2012 et 2014 afin d'évaluer la répartition des radionucléides, principalement le plutonium, sur ce site jusqu'à 1,50 m de profondeur. Des teneurs jusqu'à 143 Bq.kg^{-1} sec ont été mesurées pour le plutonium avec une répartition très hétérogène et plus particulièrement localisée dans les dix premiers centimètres sous les dalles.



Figure 16. Excavation pour un échantillonnage de sol à 3 mètres des dalles en direction du lagon.

4 2

CONCENTRATION DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES

En 2016, 34 types de denrées alimentaires issues des milieux marin et terrestre ont été échantillonnés. La répartition de ces produits par catégorie est indiquée sur la Figure 17. À ces produits locaux et régionaux s'ajoutent 4 échantillons de produits importés communs pour tous les archipels. Au total, 167 prélèvements biologiques 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, les bœnitières et les chevrettes). Tous les échantillons ont été mesurés par spectrométrie γ et le Pu par spectrométrie α a été recherché dans 22 d'entre eux (poissons de lagon, bœnitières et chair de coco). Les résultats des analyses montrent que les teneurs sont très faibles, souvent en limite de détection. Ils sont présentés par île dans les tableaux de l'annexe II [1].

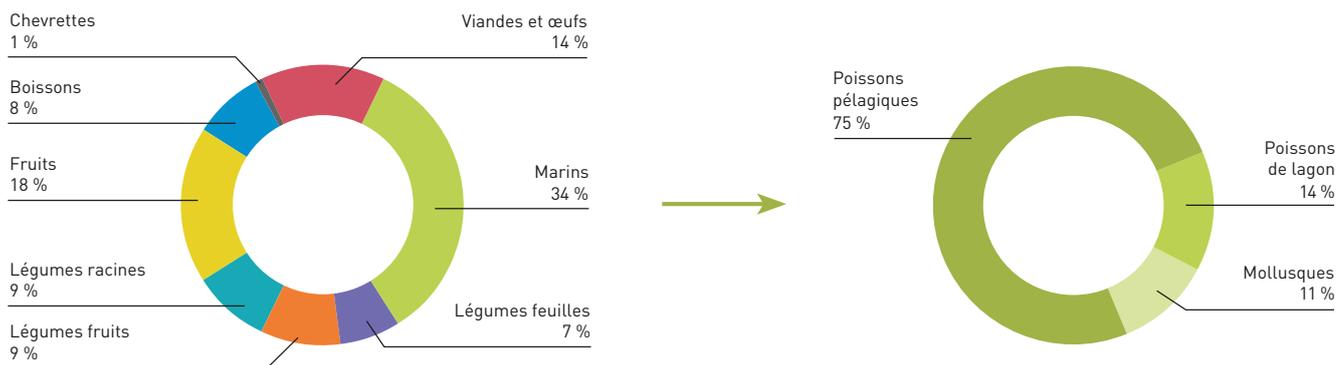


Figure 17. Répartition en % des prélèvements locaux et régionaux du domaine biologique en 2016.

ANALYSES RADIOLOGIQUES DES PLATEAUX-REPAS ET DES BOISSONS

Les denrées ont été lyophilisées (Figure 18) et regroupées en deux échantillons, un pour les denrées du midi et un pour celles du soir. Les deux échantillons ont été homogénéisés et mesurés par spectrométrie gamma et alpha puis regroupés pour ne constituer qu'un échantillon pour analyses complémentaires (Tableau 5). Les eaux et autres boissons consommées ont aussi été analysées. L'ensemble des résultats est reporté dans les tableaux AII-10 à AII-16 [1].

Les teneurs des principaux radionucléides sont indiquées sur la Figure 19. Il s'agit de radionucléides 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}K est systématiquement décelé dans tous les produits et le ^{14}C est important dans les denrées solides car le carbone élémentaire en est un constituant important (50 % en masse sèche). Les autres radionucléides sont à des teneurs plus faibles, ceux d'origine artificielle (^{137}Cs et isotopes du Pu) sont à l'état de traces lorsqu'ils sont détectés.

Des plateaux-repas, servis le midi dans un restaurant de collectivité (Figure 18) et le soir dans un restaurant de ville, ont été collectés durant cinq jours pour disposer d'un échantillonnage représentatif de l'alimentation.



Figure 18. À gauche, contenu d'un plateau repas servi en collectivité le midi. À droite, lyophilisation des plateaux-repas.



Tableau 5. Types d'analyses effectuées pour les denrées solides et liquides (les liquides incluent l'eau ainsi que la bière et les sodas associés à l'eau, l'eau de coco, le jus d'ananas et le lait).

	γ (^{137}Cs , ^{40}K , ^7Be , ^{210}Pb ...)	^{238}Pu $^{239+240}\text{Pu}$	^{90}Sr	^{210}Po	^{226}Ra	^{234}U ^{235}U ^{238}U	^{14}C	^3H libre	^3H organique
Denrées solides	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Eaux, bières et sodas	X	-	-	X	X	X	X	X	-
Eau de coco, jus d'ananas et laits	X	-	-	-	-	-	-	-	-

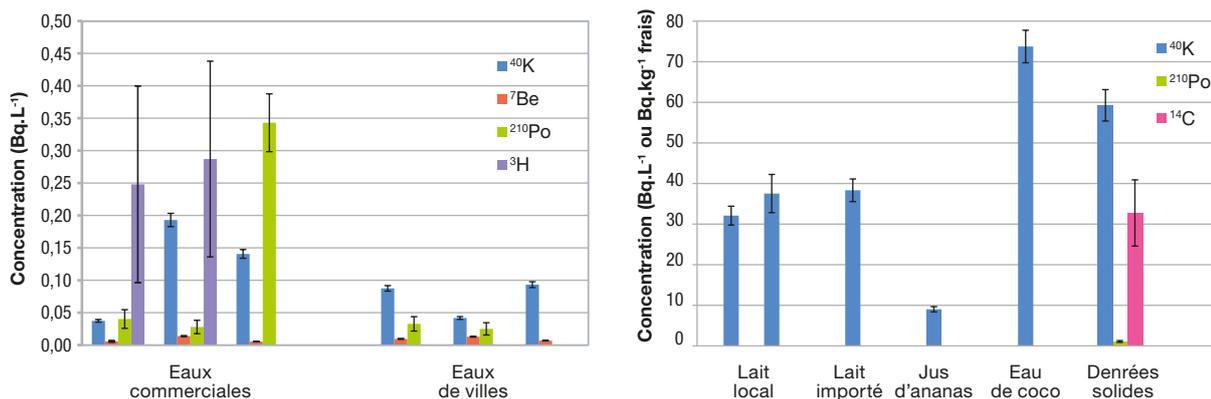


Figure 19. Concentrations (Bq.L^{-1} ou en Bq.kg^{-1} frais) des radionucléides dont les teneurs sont les plus élevées dans les six eaux de boissons analysées (à gauche), dans les autres types de boissons et les denrées solides (à droite). À noter la différence d'échelle des deux graphiques compte tenu des très faibles teneurs dans les eaux. Concentrations des radionucléides mesurés dans les denrées constituées par les plateaux-repas du midi et du soir collectés durant 5 jours en 2016.

Milieu marin

Parmi les 56 prélèvements du milieu marin on distingue ceux du milieu océanique (poissons pélagiques) de ceux du milieu lagunaire (mérours/loches et bénitiers).

Poissons pélagiques

En 2016, la surveillance renforcée du milieu marin océanique établie suite à l'accident de la centrale de Fukushima en mars 2011 s'est poursuivie. Au total, 42 prélèvements de poissons pélagiques de 7 espèces différentes (bonite, thazard, espadon, dorade coryphène, thon blanc, thon rouge et thon à nageoires jaunes – Figure 20) consommées en Polynésie française ont été effectués sur les douze mois dans les cinq archipels : 6 pour les Australes, 5 pour les Gambier, 9 pour les Marquises, 12 pour la Société et 10 pour les Tuamotu. Tous ont été analysés en spectrométrie γ . Les résultats obtenus sont détaillés dans les tableaux All-1 à All-8 [1].

Les niveaux résiduels en ^{137}Cs mesurés par l'IRSN en 2016 sont dans la continuité des résultats obtenus les années précédentes, notamment antérieurement à 2011, et restent assez homogènes, entre $0,09$ et $0,24 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais (Figure 21) et une valeur moyenne de $0,14 \pm 0,07$ (1 écart-type), le maximum étant mesuré dans un espadon et un thon blanc provenant de Hiva Oa (Marquises) et un thazard provenant des Gambier. Les teneurs mesurées dans les espadons et les thazards sont comme pour les années précédentes sensiblement supérieures aux teneurs mesurées dans les autres espèces de poissons pélagiques. Il n'y a pas de différenciation en fonction de la provenance en Polynésie française.



Figure 20. Bonites et thons sur un marché.

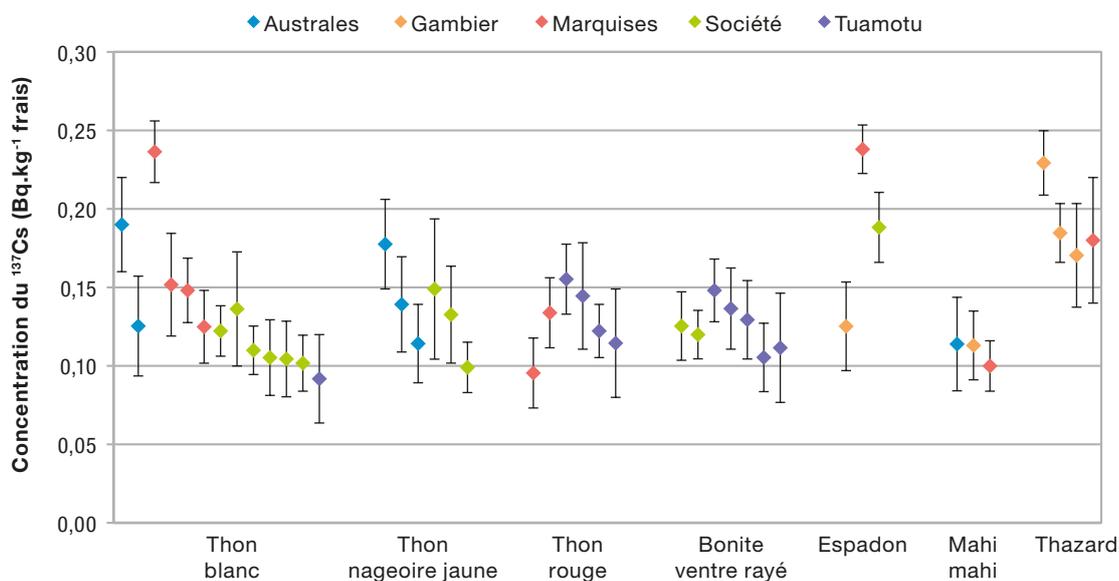


Figure 21. Concentration du ^{137}Cs (Bq.kg^{-1} frais) dans les 42 échantillons de poissons pélagiques prélevés au voisinage des îles des cinq archipels de Polynésie française en 2016.

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

En février 2015, l'Institut océanographique américain Woods Hole a mesuré du césium-134 et du césium-137 (1,4 et 5,8 mBq.L⁻¹ respectivement) dans l'eau au large de l'île de Vancouver, caractérisant l'impact de l'accident de Fukushima Daiichi dans les eaux

océaniques distantes [https://www.whoi.edu/]. Bien avant ce constat sur la radioactivité dans l'eau, le transport de la radioactivité par des poissons pélagiques a été relaté en 2011 au voisinage des côtes californiennes [19]. Les rejets radioactifs de Fukushima, non détectés dans la chair des thons à nageoires jaunes (*thunnus albacares*), ont été observés dans la chair des thons rouges (*thunnus orientalis*) avec une valeur moyenne en ¹³⁴Cs de 4,0 ± 1,4 et 6,3 ± 1,5 Bq.kg⁻¹ sec en ¹³⁷Cs alors qu'en 2008, le ¹³⁴Cs n'était pas décelé et la teneur en ¹³⁷Cs était de 1,4 ± 0,2 Bq.kg⁻¹ sec. Le passage de certaines espèces dans les eaux contaminées et leurs migrations rapides sont à l'origine de ces observations.

Après une surveillance spécifique du milieu atmosphérique et terrestre en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie [20, 21], 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 ¹³⁴Cs 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 contaminé l'environnement en y injectant massivement les deux isotopes du césium, 134 et 137, avec des activités à l'époque à peu près égales $A(^{137}\text{Cs})=A(^{134}\text{Cs})$. Compte tenu de leurs périodes radioactives respectives de 2,07 et 30,1 ans, l'isotope 134 disparaît bien plus rapidement que l'isotope 137.
- La détection de l'isotope 134 corrélée à une augmentation de la concentration en ¹³⁷Cs caractérise l'impact de Fukushima. 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 compétition entre la durée de migration et 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.

Ainsi comme pour ces dernières années, le ¹³⁴Cs n'a pas été détecté dans les prélèvements en 2016 (Tableaux AII-1 à AII-8 [1]), les limites de détection sont comprises entre 0,04 et 0,12 Bq.kg⁻¹ frais. Les activités en ¹³⁷Cs sont cohérentes avec les résultats obtenus les années antérieures confirmant que la concentration de ¹³⁷Cs observée est toujours issue des résidus des retombées des essais nucléaires atmosphériques anciens et que la contamination provenant du domaine marin japonais n'est pas décelable dans les eaux polynésiennes et dans les poissons pélagiques analysés (Figure 22).

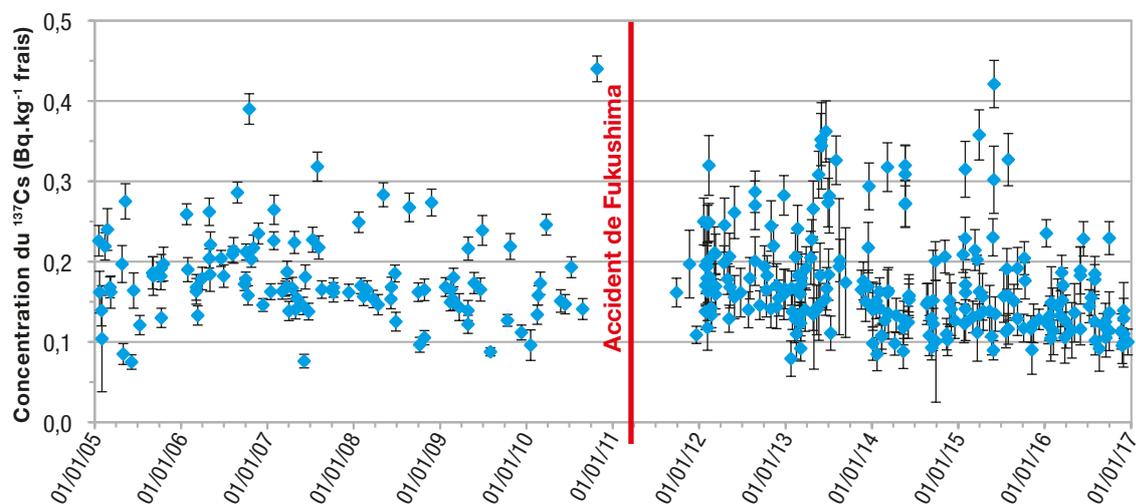


Figure 22. Concentration en Bq.kg⁻¹ de poids frais du ¹³⁷Cs dans les poissons pélagiques, toutes espèces confondues, prélevés au voisinage des côtes polynésiennes avant et après l'accident de la centrale japonaise de Fukushima Daiichi.

Poissons de lagon et bénitiers

Quatorze prélèvements ont été réalisés en 2016, 8 poissons (mérus, lutjans, loches rayon de miel) et 6 mollusques (exclusivement des bénitiers - Figure 23). Tous ont été mesurés par spectrométrie γ et par spectrométrie α après extraction du Pu par radiochimie. Les résultats d'activité sont présentés dans les tableaux All-1 à All-8 [1].

Les niveaux de radioactivité restent très faibles, similaires à ceux de 2015, quels que soient les lieux de prélèvements, aussi bien pour les poissons de lagon que pour les bénitiers.

- Le ^{137}Cs peut encore être quantifié dans les poissons de lagon analysés (7 sur 8) mais il n'est pas décelé dans les bénitiers. Toutes les valeurs mesurées en 2016 sont inférieures à $0,10 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais.
- Le $^{239+240}\text{Pu}$ a été décelé en 2016 dans la chair de quatre des huit poissons analysés à de très faibles concentrations (les valeurs sont inférieures à $0,6 \text{ mBq.kg}^{-1}$ frais en $^{239+240}\text{Pu}$). Quand il est détecté le ^{238}Pu est à des concentrations proches de la limite de détection. Comme les années précédentes, le plutonium a été quantifié dans les six échantillons de bénitiers analysés, la valeur la plus élevée étant à $2,2 \text{ mBq.kg}^{-1}$ frais en $^{239+240}\text{Pu}$ pour un échantillon provenant de Mangareva (Gambier). L'activité de la somme des isotopes 239 et 240 est environ dix fois plus élevée que celle de l'isotope 238 comme on l'observe aussi pour les sols.



Figure 23. Bénitier *Tridacna maxima* – Paha.

Milieu terrestre

Les 111 échantillons analysés en 2016 se répartissent en 13 boissons (2 eaux de boisson, 8 eaux de coco, 1 jus de fruit et 2 laits), 41 légumes (12 légumes-feuilles, 15 légumes-fruits et 14 légumes-racines), 30 fruits, 20 viandes et 2 œufs, 1 prélèvement de chevette (crevette sauvage d'eau douce) ainsi que 4 prélèvements relatifs à des produits d'importation (1 lait, 2 viandes et du riz).

Lait de vache

Les teneurs en ^{137}Cs , $0,10$ et $0,19 \text{ Bq.L}^{-1}$ (Tableau All-8 [1]), dans les deux échantillonnages de 2016 sont comparables à celles observées en Nouvelle-Zélande, située aussi dans l'hémisphère sud, en 2012 [23]. Comme les années précédentes, la concentration en ^{137}Cs dans le lait entier local est légèrement supérieure à celle du lait importé de France métropolitaine, $0,02 \text{ Bq.L}^{-1}$ en 2016.

Autres prélèvements d'origine terrestre

Les résultats des analyses de 108 denrées alimentaires par spectrométries γ et α sont présentés dans les tableaux All-1 à All-9 [1]. Depuis 2011, seuls les prélèvements de coprah, dont le pouvoir de concentration du Pu est le plus élevé des denrées terrestres, donnent lieu à une recherche de cet élément [3].

- Le ^{137}Cs est quantifié dans un peu moins de la moitié des échantillons (51/108 dont 19 valeurs inférieures à $0,10 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais, du même ordre de grandeur que les limites de détection). Les phénomènes de dilution dans l'environnement et la réduction dans le temps de sa biodisponibilité rendent de plus en plus difficile la mesure de ce radionucléide bien que sa persistance dans les sols, liée à sa période radioactive (30,1 ans), est de plusieurs centaines d'années. Aussi, les plans de prélèvements de 2016 ont été revus afin de se focaliser sur les denrées alimentaires pour lesquelles des teneurs en ^{137}Cs ont été quantifiées durant les dernières années conduisant à une proportion de valeurs significatives plus importante. Six résultats sont supérieurs à 1 Bq.kg^{-1} frais dans les denrées d'origine locale (porc de Tubuai et de Mangareva, coprah de Rangiroa, patate douce d'Hiva oa, chevette de Tahiti et chou chinois de Tubuai).
- Sur les huit échantillons de coprah prélevés, les mesures de l'isotope ^{238}Pu donnent des résultats inférieurs à la limite de détection, ou à une valeur du même ordre de grandeur, et les teneurs mesurées pour les isotopes $^{239+240}\text{Pu}$ sont quantifiées dans quatre échantillons sans excéder $0,27 \text{ mBq.kg}^{-1}$ frais (Hiva Oa).

CHRONIQUE : ÉVOLUTION DE LA SENSIBILITÉ DE LA MESURE DU PLUTONIUM DANS LA CHAIR DES POISSONS

Le dosage du plutonium dans les échantillons de l'environnement est réalisé après une préparation radiochimique sélective permettant de l'isoler pour le détecter ensuite par spectrométrie alpha ou par spectrométrie de masse.

Les premières mesures de plutonium du LESE dans un poisson de lagon ont été effectuées par spectrométrie alpha en 1994 pour trois fractions (arêtes, tête, viscères + hépatopancréas) d'un échantillon provenant de l'atoll de Rangiroa (Tuamotu). Tous les résultats correspondaient à des limites de détection à un niveau de quelques mBq.kg^{-1} frais [22]. Entre 1995 et 2000, les mesures ont concerné uniquement la chair ou des poissons éviscérés, provenant des différents archipels à l'exception des Australes. Sur les 36 mesures réalisées durant cette période tous les résultats sont en limite de détection sauf pour un échantillon de Rangiroa (sur 12 analyses effectuées en six ans) où une teneur significative faible ($0,009 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais) en $^{239+240}\text{Pu}$ a été obtenue.

À partir de 2001, les protocoles d'analyses ont été modifiés (radiochimie des traces et comptage de longue durée) afin d'abaisser les limites de détection d'un à deux ordres de grandeur (10 à 100 fois plus basses) dans un environnement où la radioactivité artificielle est de plus en plus difficile à observer, toutes matrices confondues. Il y a donc plus de valeurs significatives (24 pour 75 mesures) durant cette période plus récente que dans la précédente mais avec des teneurs plus faibles que les limites de détection préalablement déterminées (Figure 24). La valeur la plus élevée en Pu ces quinze dernières années concerne un échantillon de chair de mérrou de Hao mesuré en 2016, $0,0006 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais en $^{239+240}\text{Pu}$ (10 fois moins en ^{238}Pu). Par comparaison, les concentrations en ^{40}K sont supérieures à 100 Bq.kg^{-1} frais dans la chair de ces poissons.

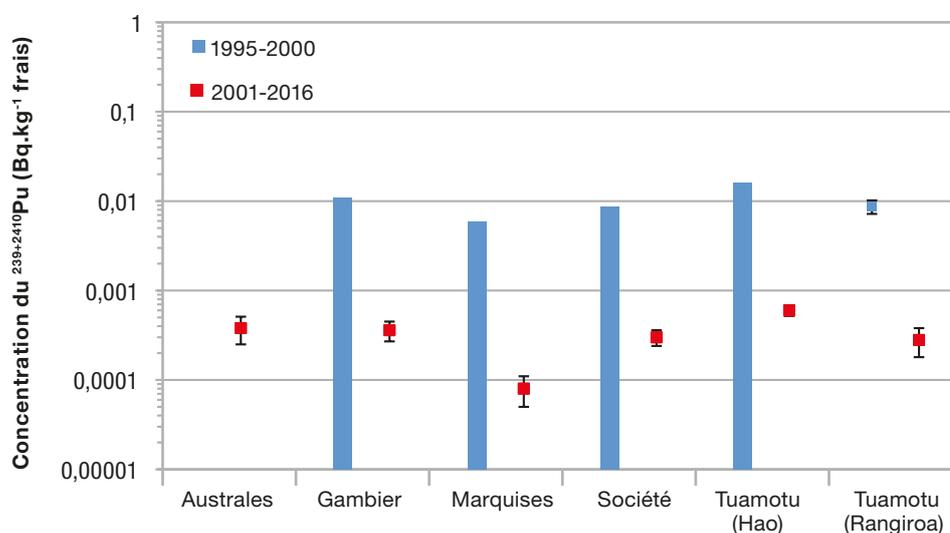


Figure 24. Concentrations maximum, en Bq.kg^{-1} frais, du $^{239+240}\text{Pu}$ dans les poissons de lagon mesurés durant les périodes 1995-2000 et 2001-2016. Les barres verticales partant de l'axe des abscisses indiquent des limites de détection.

CHRONIQUE : ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION DU ^{137}Cs DANS LE LAIT DE VACHE À TAHITI

Le lait de vache est mesuré par spectrométrie γ avec des fréquences variables depuis 1966. Les prélèvements proviennent tous de Tahiti et sont collectés, depuis 1994, systématiquement à la ferme située au plateau de Taravao. Depuis 2012, deux échantillonnages de lait

entier sont réalisés chaque année afin de poursuivre la chronique de la teneur en ^{137}Cs (Figure 25). La décroissance de cette teneur est plus élevée que celle due à la décroissance radioactive du ^{137}Cs (30,1 ans). Cette diminution « rapide » est expliquée par plusieurs phénomènes :

- décroissance radioactive et réduction progressive des retombées de particules radioactives comme le montre la courbe des dépôts cumulés reportée sur la Figure 25 ;
- lessivage d'une fraction de la radioactivité déposée par les pluies, souvent très abondantes ;
- variations de teneurs en ^{137}Cs dans l'alimentation du bétail ; variations dans le temps de la nature des graminées (*setaria*, *paspalum*, *Kiyuyu* et autres espèces indéterminées), usage de compléments alimentaires de natures diverses (maïs cultivé, tourteau de coprah, drêche fraîche...) et un abreuvement provenant de différentes sources dont les teneurs en ^{137}Cs sont aussi variables.

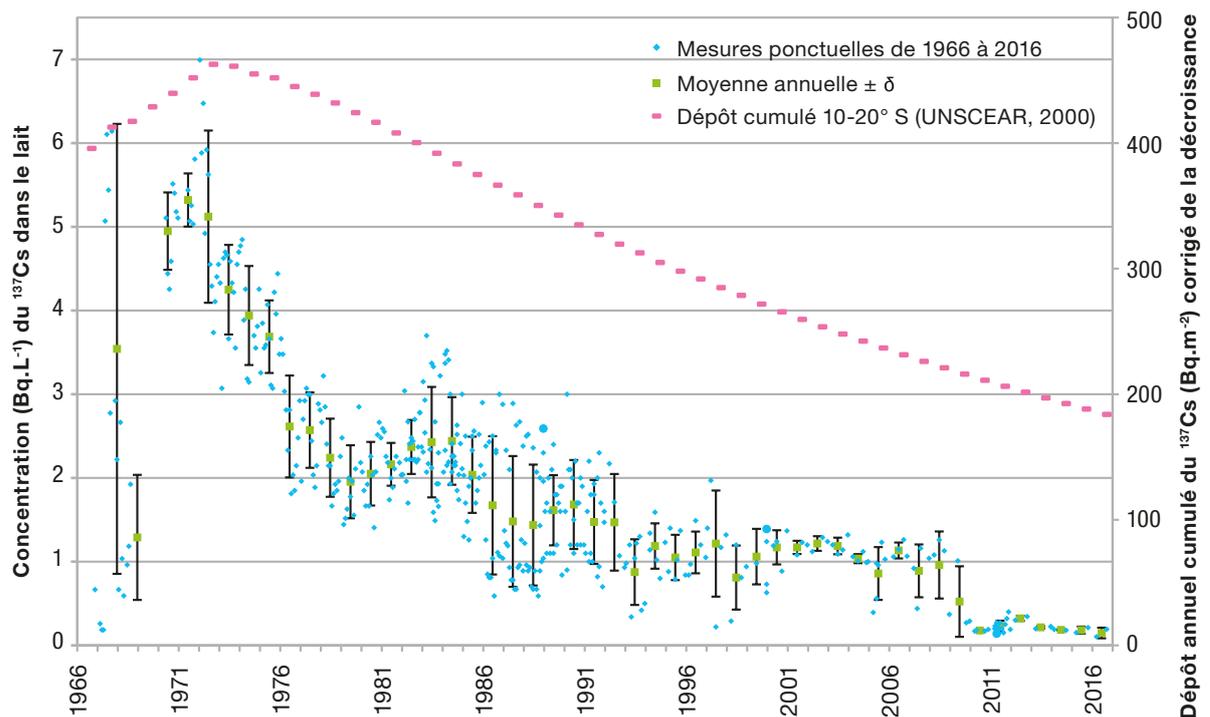


Figure 25. Évolution depuis 1966 de la concentration du ^{137}Cs (Bq.L⁻¹) dans le lait produit à Tahiti et dépôt annuel cumulé du ^{137}Cs (Bq.m⁻²), corrigé de la décroissance radioactive, sur les sols dans la bande de latitude 10-20° S [UNSCEAR [8]].

CHRONIQUE : ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION DU ^{137}Cs DANS LA VIANDE DE BŒUF

Les teneurs les plus élevées en ^{137}Cs dans les denrées consommées en Polynésie française sont fréquemment observées pour la viande de bœuf provenant de Tahiti.

En 2016, la concentration mesurée dans cette viande est de $0,55 \pm 0,05 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais, semblable au résultat de

2015 à Tahiti et du même ordre de grandeur que les teneurs mesurées en 2016 dans des viandes de bœuf de Hiva oa et de Nuku Hiva, respectivement $0,19 \pm 0,03$ et $\leq 0,05 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais. Ces valeurs sont les plus faibles depuis 20 ans. Cependant, il n'y a pas d'évolution marquée à la baisse ou à la hausse dans le temps (Figure 26). Cette variabilité est probablement liée aux aliments consommés par le bétail (pâtures constituées de différentes espèces d'herbes et compléments alimentaires variés au cours du temps).

On observe aussi une variabilité importante de la concentration de ^{137}Cs dans les viandes importées de Nouvelle-Zélande, fortement consommées en Polynésie française. En 2016, la concentration du ^{137}Cs dans la viande d'agneau de Nouvelle-Zélande est de $0,15 \pm 0,03 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais alors qu'elle était « anormalement » élevée en 2013 ($4,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais), en 2008 ($2,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais) et en 2005 ($3,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais).

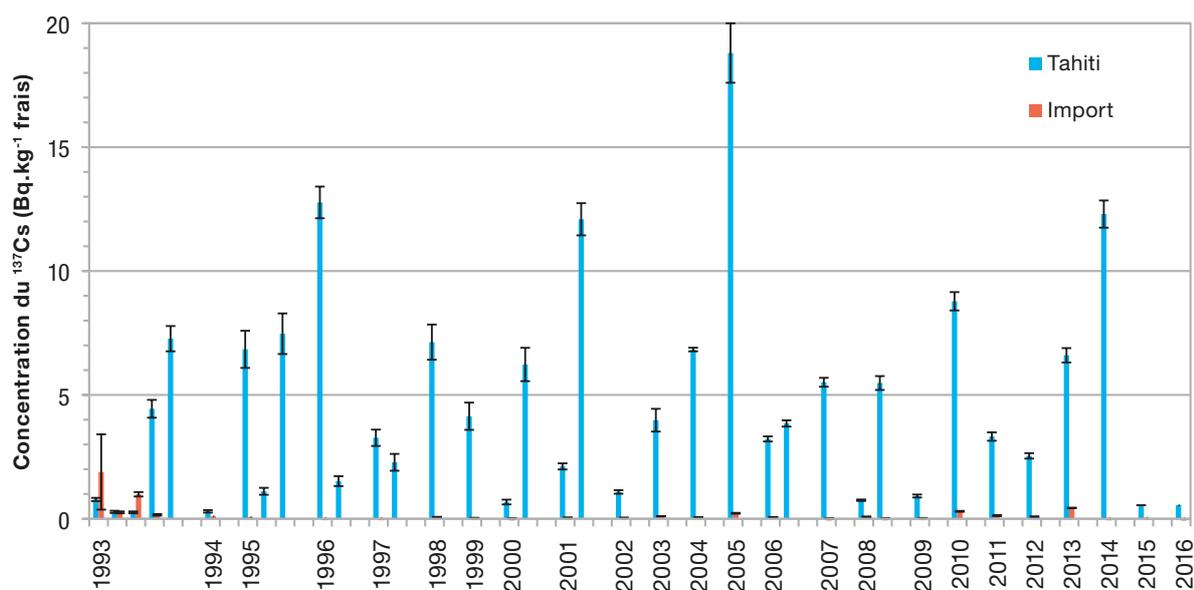


Figure 26. Concentration, en Bq.kg^{-1} frais du ^{137}Cs dans la viande de bœuf provenant de Tahiti et dans celle importée de Nouvelle-Zélande entre 1993 et 2016 (2 échantillons ou plus ont été analysés certaines années).

EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

Les effets sur les individus dus à l'exposition aux rayonnements ionisants sont quantifiés par la dose efficace à l'organisme entier dont l'unité conventionnelle est le Sievert (Sv) ou plus habituellement ses sous-multiples : le millisievert (1 mSv = 0,001 Sv), le microsievert (1 μ Sv = 0,000001 Sv). On peut, en outre, calculer pour certains radionucléides la dose à un organe lorsque cet organe est plus sensible aux effets des rayonnements que l'organisme entier (c'est par exemple le cas pour l'iode dont l'organe cible est la glande thyroïde).

Selon la manière dont les rayonnements atteignent l'organisme, on distingue l'exposition externe ou interne. L'exposition externe a lieu lorsque l'individu se trouve exposé à des sources de rayonnements qui lui sont extérieures (par exemple, radionucléides présents dans l'air ou déposés sur le sol). Le rayonnement cosmique contribue généralement de façon conséquente à l'exposition externe. La dose reçue dépend de la durée d'exposition, de l'activité et de la distance à la source. Dans le cas de l'exposition interne, le radionucléide pénètre à l'intérieur de l'organisme, le plus souvent par ingestion ou par inhalation. L'exposition interne qui en résulte perdure donc au-delà du moment où a eu lieu l'incorporation ; elle décroît en fonction de la période radioactive du radionucléide incorporé et de sa vitesse d'élimination biologique. Dans le cas d'une contamination interne due à un radionucléide de longue période, on évalue la dose engagée qui exprime, au moment de la contamination, l'intégration de l'ensemble des doses « à venir », pour une durée égale à celle nécessaire à l'élimination complète du radionucléide ou, s'il persiste dans l'organisme, pendant une durée de vie allant de 50 ans (adulte) jusqu'à 70 ans (enfant de 0-1 an).

Les doses efficaces annuelles ajoutées par la radioactivité artificielle sont constituées de trois composantes :

- **l'exposition externe**, due principalement à la concentration des radionucléides dans le sol ;
- **l'inhalation**, due à la concentration des radionucléides dans l'air ;
- **l'ingestion**, due à la concentration des radionucléides dans l'alimentation et les boissons.

Les coefficients de dose par unité d'activité inhalée et unité d'activité ingérée pris en compte sont ceux recommandés par le *Journal officiel de la République française* de 2003 [24].

5 1 SOURCES D'EXPOSITION

L'ensemble des sources de rayonnement d'origine naturelle ou artificielle contribue à l'exposition des individus. L'exposition de la population à la radioactivité naturelle a plusieurs origines, en Polynésie française, elle est essentiellement liée :

- au rayonnement cosmique, qui induit une exposition externe variant en fonction de l'altitude, de l'ordre de 0,3 mSv par an au niveau de la mer ;
- à la présence de radionucléides naturels présents dans les sols qui induisent un rayonnement tellurique responsable d'une exposition externe (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K ...) : ce rayonnement est très variable, lié à la nature des sols ;
- à l'exposition par 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. Dans l'air intérieur, le niveau de référence est de 300 Bq.m⁻³ en valeur moyenne annuelle, à partir duquel il convient d'abaisser les concentrations. L'IRSN a publié une cartographie du potentiel radon des formations géologiques de la Polynésie française [28, www.irsln.fr/carte-radon]. La méthode appliquée vise à estimer la capacité des unités géologiques à générer du radon en surface. 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). Cette cartographie permet de cibler les zones dans lesquelles la présence de radon dans les bâtiments à des concentrations élevées est la plus probable. À l'échelle communale, elle permet de définir des priorités pour le dépistage du radon. Le potentiel radon ainsi fourni ne présage en rien des concentrations présentes dans les bâtiments, celles-ci dépendant de multiples autres facteurs. La concentration du radon dans l'air d'un

bâtiment dépend des caractéristiques du sol, source principale du radon dans un bâtiment, mais aussi des caractéristiques du bâtiment et de sa ventilation. Le climat et les modes de construction, qui conditionnent fortement les taux de renouvellement de l'air intérieur, constituent de ce fait des paramètres importants. Des zones classées à potentiel radon moyen ou élevé vont ainsi pouvoir induire des expositions au radon très variables en fonction du contexte climatique et de la typologie des habitats. L'exposition pourra être, par exemple, très faible du fait des constructions très ouvertes et donc très ventilées, alors qu'elle pourrait être plus élevée dans les bâtiments plus confinés, peu ventilés ou climatisés avec un renouvellement de l'air intérieur faible.

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 (c'est le cas par exemple du ^{134}Cs rejeté dans l'environnement au Japon lors de l'accident de Fukushima en 2011) ;
- aux examens et traitements médicaux : pour la métropole, une personne reçoit en moyenne 1,6 mSv chaque année, la moyenne mondiale s'établit aux alentours de 0,6 mSv.an⁻¹.

L'objectif des chapitres suivants est d'estimer les doses reçues par les populations du fait de la radioactivité d'origines artificielle et naturelle liées à l'ingestion des denrées incluant les boissons, à l'exposition externe due aux rayonnements cosmiques et aux radionucléides présents dans l'air et le sol et à l'inhalation des radionucléides en suspension dans l'air.

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). Il s'y ajoute une faible contribution d'origine artificielle provenant des retombées aux sols des anciens essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère. Une valeur moyenne de 700 $\mu\text{Sv.an}^{-1}$ a été établie à partir de 113 mesures réparties sur l'île de Tahiti en 2014. La dose efficace ajoutée d'origine artificielle, estimée à partir du dépôt de ^{137}Cs (seul radionucléide artificiel émetteur γ encore décelable dans les sols), est inférieure à 1 $\mu\text{Sv.an}^{-1}$ pour l'île de Tahiti [26].

En 2016, 30 mesures ont été réalisées à Nuku Hiva (Figure 27) et 7 mesures à Hiva Oa complétant la cartographie de 2013 (Tableaux AIII-1 à AIII-2 [1]).

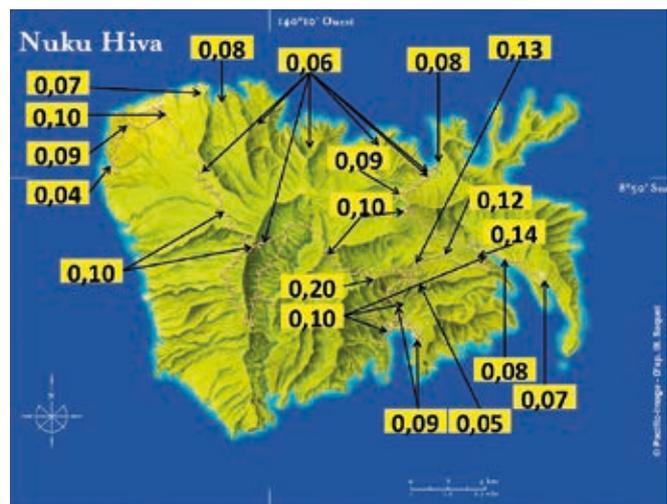


Figure 27. Exposition externe ($\mu\text{Sv.h}^{-1}$) à Nuku Hiva.

- Dose efficace annuelle liée à l'inhalation

La dose efficace engagée en 2016 par l'inhalation ($E_{\text{inhalée}}$) des radionucléides portés par des aérosols est évaluée (Tableau 6) à partir de la concentration moyenne annuelle des principaux radionucléides mesurés par spectrométrie gamma (paragraphe 4.1). La contribution du radon (paragraphe 5.1) n'est pas prise en compte. Cette évaluation est faite pour des adultes de plus de 17 ans respirant 22 m³ d'air par jour, avec les coefficients de dose du *J.O.* de 2003 [24] pour les principaux radionucléides d'origine naturelle quantifiés par spectrométrie gamma dans les aérosols (⁷Be, ²²Na et ²¹⁰Pb) et le ¹³⁷Cs.

- Dose efficace annuelle liée à l'ingestion

La dose efficace engagée annuellement par l'ingestion de radionucléide d'origine artificielle a été calculée jusqu'en 2015 à partir de rations alimentaires (enquête de 1982 [27] réactualisée en 1991). Y étaient distingués les produits d'origine strictement locale, les produits d'origine régionale polynésienne et les produits importés. Compte tenu des faibles concentrations mesurées dans les denrées et la variabilité des résultats de l'évaluation de la dose par ingestion associée à l'unique fluctuation d'une année sur l'autre des teneurs en ¹³⁷Cs pour quelques produits fortement consommés dans le cadre d'une ration alimentaire ancienne, nous avons retenu de faire à partir de 2016 une évaluation de la dose ingestion à partir d'aliments collectés sous forme de plateaux-repas provenant des restaurants d'entreprises ou publiques de Tahiti.

Des analyses complémentaires à la spectrométrie gamma et à la spectrométrie alpha (Pu) ont été mises en œuvre, scintillation liquide, comptage proportionnel, spectrométrie

de masse ICPMS, et absorption atomique à flamme, afin d'établir une comparaison entre la dose par ingestion ajoutée par les principaux radionucléides d'origine artificielle (¹³⁷Cs, Pu et ⁹⁰Sr) et celle issue des principaux radionucléides d'origine naturelle (²²⁶Ra, ³H, ¹⁴C^[1], U, ²¹⁰Po, ⁷Be). Les analyses ont porté sur des plateaux-repas regroupés durant 5 jours d'affilée afin d'établir la concentration moyenne des radionucléides d'origine artificielle et naturelle dans l'alimentation de la population^[2]. Par ailleurs des eaux de différentes provenances (eaux commerciales et eaux de ville distribuées aux habitants) 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 analysés en considérant une consommation égale pour chacune d'entre elles, avec un volume majoré pour l'une des eaux commerciales employée pour la fabrication de bières et de sodas locaux.

À partir d'un échantillonnage sur 5 jours (Figure 28), les denrées solides ingérées annuellement représentent 428 kg par personne. Cette quantité est équivalente à celle de 433 kg établie pour la population adulte de Tahiti en 1982 et utilisée dans les évaluations de l'IRSN jusqu'en 2015. Le contenu et les quantités des plateaux-repas sont détaillés dans les tableaux AIV-1, AIV-2 et AIV-3 [1].

Une quantité annuelle de 730 L est retenue comme par le passé pour l'eau de boisson à laquelle s'ajoute 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 (Tableau AIV-3[1]).

L'évaluation de la dose efficace engagée en 2016 par l'ingestion d'aliments et de boissons est effectuée à partir des concentrations des différents radionucléides mesurés, exprimées en Bq.L⁻¹ pour les liquides et en Bq.kg⁻¹ frais pour les solides, multipliées par les quantités annuelles ingérées, en L.an⁻¹ ou en kg.an⁻¹, et par les doses efficaces

Tableau 6. Dose efficace engagée, en μSv , en 2016 par l'inhalation des radionucléides mesurés par spectrométrie gamma dans les aérosols à Tahiti.

	Radionucléide artificiel	Radionucléides naturels			Total
	¹³⁷ Cs	⁷ Be	²² Na	²¹⁰ Pb	
e (Sv/Bq)	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$5,5 \cdot 10^{-11}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	
$E_{\text{inhalée}}$ ($\mu\text{Sv.an}^{-1}$)	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,0013	$3,0 \cdot 10^{-6}$	0,76	0,8

1. Actuellement, les teneurs en ¹⁴C dans l'environnement distant des installations nucléaires sont équivalentes à celles connues avant l'ère nucléaire, elles reflètent une teneur naturelle [28].

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



Figure 28. Dénrées solides et liquides analysées.

engagées par unité d'incorporation par ingestion, en Sv.Bq⁻¹, du J.O. de 2003 [24]. Ces dernières sont reportées dans le tableau AIV-4 [1].

La dose annuelle engendrée par la radioactivité d'origine artificielle (¹³⁷Cs + Pu + ⁹⁰Sr) est d'environ 0,31 μSv (Tableau 7), provenant pour les deux tiers du ¹³⁷Cs, et représente moins de 0,05 % de celle provenant de la radioactivité naturelle (Figure 29). Les radionucléides les plus concernés sont d'origines naturelles, le ²¹⁰Po pour l'essentiel de la dose et le ²²⁶Ra pour environ 5 %. Ces radionucléides sont contenus majoritairement dans les dénnées solides. La dose efficace engagée en 2016 pour l'ingestion est évaluée à environ 0,7 mSv.

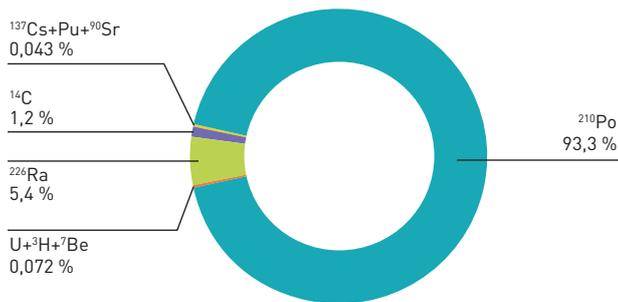


Figure 29. Répartition en % des différents radionucléides contribuant à la dose efficace engagée en 2016, relative à l'ingestion (aliments solides et boissons) pour les adultes.

Tableau 7. Répartition par radionucléide de la dose efficace engagée, en μSv, en 2016 pour l'ingestion (aliments solides et boissons) par les adultes de plus de 15 ans à Tahiti.

Radioactivité artificielle			Radioactivité naturelle						Total
¹³⁷ Cs	Pu*	⁹⁰ Sr	²¹⁰ Po	²²⁶ Ra	¹⁴ C	U**	³ H***	⁷ Be	
0,209	0,0084	0,091	648	37,5	8,6	0,49	0,0084	0,0013	695

* 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 ³H libre et organique.

Dose efficace annuelle totale

La dose efficace totale, somme des trois composantes, irradiation externe, inhalation et ingestion pour la population adulte vivant en 2016 à Tahiti est inférieure à 1,4 mSv (Tableau 8). Elle provient, pratiquement en parts égales, de l'exposition externe (rayonnements telluriques et cosmiques) et de l'exposition interne due à l'ingestion des dénnées et des boissons. Cette exposition est plus faible que l'exposition moyenne annuelle de la population en métropole, 2,9 mSv hors exposition médicale [29].

Si on considère les usages médicaux identiques en Polynésie française et en métropole, l'exposition médicale moyenne est estimée à 1,6 mSv.an⁻¹, portant l'exposition de la population aux rayonnements à environ 3,0 mSv.an⁻¹ (4,5 mSv.an⁻¹ en métropole).

Tableau 8. Dose efficace annuelle (μSv) pour les adultes à Tahiti en 2016.

Origine de l'exposition	Exposition externe	Inhalation	Ingestion	Total
Artificielle	< 1	1,2 10 ⁻⁶	0,31	< 1,4
Naturelle	700	0,8	695	1396

IMPACT DOSIMÉTRIQUE DE L'INGESTION DE MÉROUS PROVENANT DE L'ATOLL DE HAO

Les mesures radiologiques des denrées sont axées sur les parties communément comestibles telles que la chair des poissons. Qu'en est-il de la teneur du plutonium contenue dans d'autres parties comestibles comme l'hépatopancréas^[3] ou non comestibles comme les viscères ou les arêtes ?

Un échantillonnage de 15 mérour (loches marbrées), d'environ 1 kg chacun, a été effectué dans la passe Kaki de Hao en 2016 pour des analyses radiologiques des arêtes, des hépatopancréas et des viscères ainsi que de la chair. Le protocole d'analyse est schématisé sur la Figure 30.

Le principal radionucléide détecté dans ces échantillons est le ⁴⁰K, d'origine naturelle, présent à des concentrations de 35, 65, 77 et 124 Bq.kg⁻¹ frais dans les arêtes, les viscères, l'hépatopancréas et la chair respectivement.

Les radionucléides artificiels décelés à l'état de traces sont le ¹³⁷Cs dans la chair et les viscères et le plutonium dans les hépatopancréas, les viscères, et à plus faible concentration dans la chair. Les teneurs mesurées sont très faibles. La teneur en ¹³⁷Cs dans la chair est de l'ordre de 0,1 Bq.kg⁻¹ frais, conforme aux résultats habituellement obtenus. Elle est en limite de détection (< 0,1 Bq.kg⁻¹ frais) pour les 3 autres fractions analysées. Les teneurs en plutonium sont extrêmement faibles, moins de 0,001 Bq.kg⁻¹ frais, et sont cinq fois plus élevées dans les hépatopancréas que dans la chair. Il faut noter qu'une loche marbrée de 1 kg donne environ 300 g de chair et 10 g d'hépatopancréas. La consommation de 300 g de chair conduit donc à une ingestion de Pu 6 fois plus élevée que celle due à la consommation des 10 g d'hépatopancréas du même animal.

3. L'hépatopancréas en particulier peut être retenu comme un système sentinelle pour déceler les polluants, radioactifs ou non, car cet organe a un pouvoir concentrateur plus élevé que la chair pour certaines toxines. C'est le cas par exemple du plutonium qui est un métal lourd toxique qui peut être plus facilement décelé dans l'hépatopancréas que dans la chair. Ce n'est pas le cas du césium qui est préférentiellement assimilé dans la chair qui contient une grande masse de potassium dont le comportement chimique est similaire.





Figure 30. Préparation et mesure des quatre fractions (chair, hépatopancreas, viscères, arêtes) issues des 15 kg de mérous prélevés à Hao le 18 juin 2016.

6 CONCLUSION

En 2016, l'IRSN a poursuivi la surveillance radiologique des sept îles de la Polynésie française qu'il contrôle régulièrement en intégrant pour la première fois depuis 1998 une autre île des Marquises.

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. Trente-deux prélèvements ont été effectués pour le domaine physique (air, eaux et sols) et 167 pour le domaine biologique (poissons de haute mer, poissons et autres produits de lagon, légumes, fruits, viandes, lait et boissons diverses) ainsi qu'un échantillon importé du Japon. Les analyses faites sur ces prélèvements ont permis de connaître et de suivre les niveaux de radioactivité d'origine artificielle dans l'environnement et pour les principales denrées alimentaires.

Des analyses supplémentaires 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 ;
- évaluer l'exposition aux rayonnements de la population.

– Résultats des mesures de radioactivité artificielle en 2016 –

Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés en 2016 ne sont pas significativement différents de ceux obtenus ces dernières années.

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

- Pour l'ensemble des denrées alimentaires, les valeurs sont toujours extrêmement faibles, souvent inférieures à $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais.
- Les valeurs maximales obtenues en 2016 n'excèdent pas $0,24 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais pour les poissons (haute mer et lagon) et sont inférieures au seuil de décision ($0,03 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais) pour les bénéitiers.

- Six résultats sur 167 sont supérieurs à 1 Bq.kg^{-1} frais : compris entre 1,1 et $3,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais pour la chair de coco séchée (coprah) de Rangiroa (Tuamotu), la viande de porc de Tubuai (Australes) et de Mangareva (Gambier), la patate douce de Hiva oa (Marquises), les chevrettes de Tahiti (Société) et le chou chinois de Tubuai.
- Les valeurs obtenues pour les sols non remaniés de Nuku Hiva et de Hiva Oa sont d'environ $1 \text{ à } 2 \text{ Bq.kg}^{-1}$ sec dans les premiers centimètres de profondeur, du même ordre de grandeur que les valeurs mesurées en 2014-2015 dans les autres îles hautes (Moorea, Tahiti, îles des Gambier, Raivavae) mais bien supérieures à celles de l'atoll de Hao qui sont inférieures à $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ sec à cause de la nature corallienne du sol dans lequel le radionucléide n'a pas pu se fixer.
- Comme les années précédentes, dans les eaux douces (source, rivière et pluie), le ^{137}Cs n'a été décelé qu'à une valeur extrêmement faible dans une eau de rivière ($0,23 \text{ mBq.L}^{-1}$).
- Dans l'**eau de mer**, les valeurs obtenues en 2016, comme ces dernières années, sont proches de 1 mBq.L^{-1} .
- Dans les **aérosols** prélevés à Tahiti, le ^{137}Cs est décelé à l'état de traces (de l'ordre de $0,1 \mu\text{Bq.m}^{-3}$) dans la continuité des valeurs des années précédentes.
- Concernant le contrôle réalisé sur le **produit importé du Japon**, le ^{137}Cs n'a pas été détecté.

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

- Le plutonium a été détecté dans les six prélèvements de **bénéitier**, avec une teneur maximale en Pu total à $2,5 \text{ mBq.kg}^{-1}$ frais pour un échantillon de Mangareva (Gambier), ainsi que dans les huit prélèvements de **poisson de lagon** (mérrou) et les huit prélèvements de **coprah**.
- Dans les **sols de Hiva oa et de Nuku Hiva (Marquises)**, les teneurs en plutonium sont inférieures à 1 Bq.kg^{-1} sec. Comme pour le ^{137}Cs , la grande majorité de l'activité a relativement peu pénétré en profondeur au-delà de 10 cm. Ces teneurs et ces taux de pénétration sont similaires à ceux des autres îles hautes étudiées précédemment (Tahiti, Moorea, îles des Gambier et Raivavae).

■ Le ^{60}Co n'a été détecté dans aucun échantillon.

– Exposition des populations –

L'exposition de la population aux rayonnements ionisants est quasi-exclusivement d'origine naturelle. Le principal radionucléide d'origine artificielle présent dans les sols et dans les denrées est le ^{137}Cs qui contribue très faiblement à l'exposition. Le plutonium et le ^{90}Sr ne contribuent pas du tout à l'exposition externe et très faiblement à l'exposition interne par ingestion d'aliments.

Le rayonnement cosmique et les radionucléides d'origines naturels présents dans les sols et dans les denrées (principalement, ^{210}Po et ^{226}Ra) contribuent, hors exposition médicale, pour près de plus de 99 % à l'exposition de la population. En 2016, la dose efficace totale (exposition externe, exposition interne par ingestion et inhalation) est évaluée à moins de 1,4 mSv en Polynésie française, elle est de 2,9 mSv en moyenne annuelle en métropole. À ces expositions naturelles s'ajoute une exposition médicale évaluée en moyenne à $1,6 \text{ mSv.an}^{-1}$ si on la suppose identique en Polynésie française à celle de la métropole.

– Évolution de la surveillance –

Le suivi évolue et se diversifie (étude de la rémanence de la radioactivité dans les sols, cartographie de l'exposition externe, constats radiologiques sur d'autres îles, prestations) pour continuer à fournir une information aussi précise que possible sur l'état radiologique de la Polynésie française et répondre aux préoccupations de sa population soucieuse de la qualité de son environnement.

Cette préoccupation de la population s'est notamment focalisée après le 11 mars 2011 sur les conséquences radiologiques dans le Pacifique sud de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima. Les moyens de l'IRSN, dans les territoires et départements d'outre-mer comme en métropole, ont été sollicités lors de l'accident pour évaluer un impact radiologique éventuel dans l'environnement et pour tenir informées les populations des résultats de ses observations et de ses analyses. L'ensemble des résultats, ainsi que leurs interprétations, et des informations sur l'évolution de la situation au Japon ont été mis à disposition sur le site www.irsln.fr. Des plans de prélèvement spécifiques concernant le milieu atmosphérique (air, pluie) et terrestre (herbe, lait de vache) ont en outre été mis en place pendant plusieurs semaines après l'arrêt des rejets radioactifs atmosphériques. Puis de 2012 à 2016, une surveillance renforcée dans le Pacifique sud a été maintenue dans le domaine marin pour observer un éventuel impact lié aux rejets radioactifs, persistants encore en mer, depuis l'accident de Fukushima.

La fréquence des analyses de l'eau de mer, annuelle auparavant, a été augmentée depuis 2012. Les concentrations en ^{134}Cs obtenues ces quatre dernières années (inférieures à la limite de détection) confirment que la concentration de ^{137}Cs observée (proche de 1 mBq.L^{-1}) est toujours issue des retombées des essais nucléaires atmosphériques anciens et que la contamination du domaine marin japonais n'a pas été décelée dans les eaux polynésiennes.

Quarante-deux prélèvements de poissons pélagiques (thons, dorade coryphène, thazard...) ont été réalisés au voisinage des cinq archipels en 2016. Le ^{134}Cs n'a jamais été décelé et aucune augmentation de ^{137}Cs par rapport aux années passées n'a été observée.

7 RÉFÉRENCES

- [1] IRSN, *Surveillance de la radioactivité en Polynésie française – Annexes au bilan 2016*. Rapport IRSN DG/2018-00004 (2018) 40p.
- [2] Journal officiel de la République française du 27 décembre 2012. *Décret n° 2012-1454 du 24 décembre 2012 authentifiant les résultats du recensement de la population effectué en Polynésie française en 2012*.
- [3] Bouisset P., Bernagout S., *Évolution de la stratégie de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française*. Rapport DEI/SESURE 2010-28 (2010) 36p.
- [4] Gouvernement de la Polynésie française - Arrêté 1058 CM du 21 juillet 2014.
- [5] Yamada M., Wang Z.L., *¹³⁷Cs in the western South Pacific Ocean*. Sci. Total Environ. 382 (2007) 342-350.
- [6] Hirose K., Aoyama M., Kim C.S., *Plutonium in sea water of the Pacific Ocean*. J. Radioanal. Nucl. Chem. 274 (2007) 635-638.
- [7] Bouisset P., Nohl M., Bouville A., Leclerc G., *Inventory and vertical distribution of ¹³⁷Cs, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu and ²³⁸Pu in soil from Raivavae and Hiva Oa, two French Polynesian islands in the southern hemisphere*. J. Environ. Radioact. 183 (2018) 82-93.
- [8] UNSCEAR, *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Sources. Annex C: Exposures to the public from man-made sources of radiation*. pp 159-287. United Nations, New York, 2000.
- [9] Kirchner G., Strelb F., Bossew P., Ehlken S., Gerzabek M.H., *Vertical migration of radionuclides in undisturbed grassland soils*. J. Environ. Radioact. 100 (2009) 716-720.
- [10] Mitchell P.I., Sanchez-Cabeza J.A., Ryan T.P., Mccarry A.T., Vidal-Quatras A., *Preliminary estimates of cumulative caesium and plutonium deposition in the Irish terrestrial environment*. J. Radioanal. Nucl. Chem. 138 (2) (1990) 241-256.
- [11] Hodge V., Smith C., Whiting J., *Radiocesium and plutonium: still together in "background" soils after more than thirty years*. Chemosphere 32 (1996) 2067-2075.
- [12] Bunzl K., Kracke W., *Fate of fall-out plutonium and americium in the environment: selected examples*. J. Alloys Compd. 213/214 (1994) 212-218.
- [13] Clarke R.H., Dunster J., Nenot J.-C., Smith H., Voeltz G., *The environmental safety and health implications of plutonium*. J. Radiol. Prot. 16 (2) (1996) 91-105.
- [14] Komosa A., *Migration of plutonium isotopes in forest soil profiles in Lublin region (Eastern Poland)*. J. Radioanal. Nucl. Chem. 240 (1) (1999) 19-24.
- [15] Hardy, E.P., Krey, P.W., Volchok, H.L., *Global inventory and distribution of fallout plutonium*. Nature 241 (1973) 444-445.
- [16] Handl J., Sachse R., Jakob D., Michel R., Evangelista H., Gonçalves A.C., de Freitas A.C., *Accumulation of ¹³⁷Cs in Brazilian soils and its transfer to plants under different climatic conditions*. J. Environ. Radioact. 99 (2008) 271-287.
- [17] Le Roux G., Duffa C., Vray F., Renaud P., *Deposition of artificial radionuclides from atmospheric Nuclear Weapon Tests estimated by soil inventories in French areas low-impacted by Chernobyl*. J. Environ. Radioact. 101(2010) 211-218.
- [18] Mitchell P.I., Sanchez-Cabeza J.A., Ryan T.P., Mccarry A.T., Vidal-Quatras A., *Preliminary estimates of cumulative caesium and plutonium deposition in the Irish terrestrial environment*. J. Radioanal. Nucl. Chem. 138 (2) (1990) 241-256.
- [19] Madigan D.J., Baumann Z., Fisher N.S., *Pacific bluefin tuna transport Fukushima-derived radionuclides from Japan to California*. PNAS Early Edition (April 2012) 4p.
- [20] IRSN/DEI. *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 (2011) 90p.
- [21] Bouisset P. et Bernagout S., *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 (2012) 45p.
- [22] IPSN, *Surveillance de la radioactivité en Polynésie française et autres pays et territoires – Années 1993 et 1994*. Rapport IPSN (1995) 35p + annexes.
- [23] Ministry of Health N-Z. *Environmental radioactivity report 2012/13* (2014) 2p.
- [24] Journal officiel de la République française 58004. Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.
- [25] Ielsch G., Cushing M., *Cartographie du potentiel radon des formations géologiques dans les DROM-COM – Lot 2: Polynésie française*. Rapport RT/PRP-DGE/2014-0013 (2014) 30p.
- [26] Bouisset P., Leclerc G. et Rua J., *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2006 – Résultats du réseau de surveillance de l'IRSN*. Rapport DEI/SESURE n° 2007-78 (2007) 99p.
- [27] Grouzelle C., Dominique M. et Ducouso R., *Résultats d'une enquête alimentaire effectuée à Tahiti de 1980 à 1982*. Rapport CEA R.5304 (1985) 180p.
- [28] Barescut J-C., *Risque chronique et radioactivité Le programme de recherche « ENVIRHOM » mené à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire*. Environnement, Risques & Santé 3(3) (2004) 173-177.
- [29] IRSN, *Exposition de la population française aux rayonnements ionisants*. Rapport IRSN/2015-00001 (2015) 22p.
- [30] Schuller P., Bunzl K., Voigt G., Ellies A., Castillo A., *Global fallout ¹³⁷Cs accumulation and vertical migration in selected soils from South Patagonia*. J. Environ. Radioact. 71(2004) 43-60.

Mots-clés

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

La réalisation de l'ensemble des prélèvements ne pourrait se faire sans la contribution de C. Ah Scha, L. Dor, R. Tamarii, G. Taputu, T. Temarohirani, J.-C. Teunu et T. Teahutapu, 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/2018-00004

Tous droits réservés IRSN

Septembre 2018

Conception graphique :

Agence Kazoar

www.kazoar.fr

Photo de couverture :

Baies à proximité du village de Mahoe à NuKu Hiva (île de l'archipel des Marquises). © IRSN/LESE

Autres photos :

IRSN/LESE

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

Mail : contact@irsn.fr



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