

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2014

Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN





Ont contribué à l'élaboration de ce rapport :

**Service d'étude et de surveillance
de la radioactivité dans l'environnement :**

- P. BOUISSET
- M. NOHL
- G. LECLERC
- J. RUA
- S. BERNAGOUT
- P. DELABBAYE

**Service de traitement des échantillons
et de mesure pour l'environnement :**

- A. DE VISMES

La réalisation de l'ensemble des prélèvements ne pourrait se faire sans la contribution de C. AH SCHA, G. TAPUTU, R. TAMARII, T. TEMAROHIRANI, V. FLORES, G. TEAKAROTU, correspondants îliens du laboratoire, basés dans les différents archipels de Polynésie française.

Remerciements au chef de mission J.-P. MÉNAGER et à l'ensemble de l'équipe DGA-CEA de la mission TURBO 2014, ainsi qu'au COMSUP de Polynésie française, pour l'aide apportée à la collecte des échantillons du milieu océanique à Moruroa.

Contact :

Pour toute information complémentaire, vous pouvez contacter :
Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement
IRSN/PRP-ENV/SESURE/LESE
BP 182
98725 Vairao – Tahiti – Polynésie française
patrick.bouisset@mail.pf

MOTS-CLÉS :

POLYNÉSIE FRANÇAISE, ENVIRONNEMENT, LAGON, RADIOACTIVITÉ, DOSE EFFICACE, CÉSIUM 137, PLUTONIUM.

RÉSUMÉ

Exercée depuis 1962 en Polynésie, la surveillance radiologique de l'environnement français, qui concerne sept îles (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva et Tubuai) représentatives des cinq archipels, consiste à prélever régulièrement des échantillons de nature variée dans les différents milieux (air, eau, sol) avec lesquels la population peut être en contact, ainsi que des denrées alimentaires. Pour la première fois en 2014, le LESE a été intégré dans la mission Turbo de la Direction Générale de l'Armement (DGA) et du Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) en charge du suivi radiologique des atolls militaires, avec l'analyse d'échantillons océaniques prélevés à flanc d'atoll et au large de Moruroa.

En ce qui concerne les denrées, les échantillons analysés sont représentatifs de la ration alimentaire des Polynésiens vivant dans les cinq archipels de ce territoire, et proviennent du milieu marin de pleine mer, du milieu marin lagunaire et du milieu terrestre.

La quasi-totalité des échantillons prélevés sont mesurés au Laboratoire d'Étude et de Suivi de l'Environnement de l'IRSN, implanté sur l'île de Tahiti à Vairao, quelques échantillons étant mesurés au laboratoire d'Orsay de l'Institut.

Après une diminution régulière des niveaux de radioactivité depuis l'arrêt en 1974 des essais atmosphériques français d'armes nucléaires, l'état radiologique constaté en 2014 est stable, dans la continuité des années antérieures récentes, et se situe à un très bas niveau. Cette radioactivité résiduelle est essentiellement attribuable au césium 137. La dose efficace annuelle ajoutée par la radioactivité d'origine artificielle est inférieure à $5 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$ (5 microsieverts par an), soit moins de 0,5 % de la dose associée à l'irradiation naturelle en Polynésie (environ $1\,000 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$).

Depuis 2010, des mesures de cette irradiation naturelle ont été réalisées sur certaines îles ou atolls avec des cartographies détaillées pour certaines d'entre elles. On constate des niveaux d'exposition très bas, inférieurs en moyenne à $1\,000 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$. Cependant, dans les îles hautes, des valeurs plus élevées ont été relevées lorsque des roches volcaniques sont présentes. La valeur la plus élevée, $6\,000 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$, a été mesurée au sommet du mont Taitaa à Tubuai en 2013. En 2014, ces cartographies ont concerné Tahiti, Moorea, Hao et les îles des Gambier.

À la suite de la catastrophe de Fukushima, une surveillance radiologique renforcée de l'environnement a été mise en place et s'est poursuivie en 2014 dans le domaine marin. Les mesures réalisées tout au long de l'année confirment l'absence d'impact de la contamination du domaine marin japonais dans les eaux polynésiennes. Des prélèvements de poissons pélagiques (thon, dorade coryphène, thazard...) ont été réalisés au voisinage des cinq archipels polynésiens : aucune augmentation de ^{137}Cs par rapport aux années passées n'a été observée et le ^{134}Cs n'a jamais été décelé, confirmant l'absence d'espèce migratoire contaminée.

L'étude concernant la mise au point d'un réseau de suivi des contaminants anthropiques dans les lagons polynésiens, initiée en 2009 en partenariat avec l'IFREMER et le CRIOBE du CNRS, s'est achevée en 2014 dans le cadre du contrat de projet État-Pays.

Une nouvelle orientation du programme de surveillance a été mise en œuvre en 2014 avec l'étude de la radioactivité d'origine artificielle dans les sols, principale voie de transfert aux aliments actuellement. Les analyses concernent principalement le ^{137}Cs , radionucléide encore décelable dans plus de la moitié 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 dans les sols de Tahiti, de Moorea, de Hao et des îles Gambier excèdent parfois 1 Bq/kg sec , aussi bien en ^{137}Cs qu'en $^{238+239}\text{Pu}$. Par rapport aux autres îles, celles des Gambier sont caractérisées par des teneurs plus élevées en Pu et des rapports isotopiques $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ différents, caractéristiques de dépôts spécifiques lors de certains tirs atmosphériques.

PARAU POTO

Mai te matahiti 1962 i Porinetia, ua riro ia te ie hi'o po'a ra'a tamau i roto e na hitu motu (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva e Tubuai) o te mau tuha'a pae o te mau motu, oi a hoi mai te rave rave mai te tahi mau tao'a huru rau i roto i te mau vahi ato'a (te mata'i, vai, repo) ta te taata ia e piri atu te mahana ta'i tahi. Note taime matamua roa i te matahiti 2014, ua fa'a o to'a hia mai te LESE i roto i te tere hi'opo'ara'a Turbo o te DGA e te CEA, tiaau nei i te hi'opo'ara'a te mau vi'i vi'i atomi i nia i te mau motu o tei faaea hia e te mau faehua, mai te raverave to'a mai te tahi mau hi'opo'ara'a no roto mai i te tai moana ati ae ia Moruroa e i te hiti o te motu.

Te pae o te mau ma'a, te mau hiopo'a ra'a i rave hia e au hoa'ia o te mau ma'a ta te ta'a ta e amu nei i roto i na tuha'a pae atoa o te mau motu, no roto mai ia i te miti e te fenua.

Te hi'o po'a hia nei te rahi ra'a o te mau mea i rave rave hia mai i te pu IRSN, vai nei i ni'a i te motu no Tahiti i Vairao, are'a ra te vai nei te tahi mau mea reva rave hia mai o tei hapono hia tu i te pu IRSN no Orsay.

Ua topa roa te mau vi'i vi'i atomi mai te matahiti 1974 i muri mai i te mau tamatamata ra'a te mau moiha'a atomi a te fenua Farani i roto i te aore, te vai au noa te mau numera o te vi'i vi'i atomi i te matahiti 2013 ia hi'o hia te mau matahiti i ma'iri i hora. Te ie vi'i vi'i atomi e vai nei no roto mai ia i te cesium 137. Tei raro mai te numera vi'i vi'i atomi i te matahiti i te $5 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$ (5 microsieverts i te matahiti), raro mai ia te 0,5 % o te faito vi'i vi'i atomi natura i Porinetia (mai te $1\ 000 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$).

Mai te matahiti 2010, ua rave hia mai te mau faito o te vi'ivi'i natura i nia i te tahi mau motu teitei e tetahi mau motu haehaa mai te fa'aite papu atu i nia ite mau puta no tetahi o ratou. Te ite hia nei te iti o te mau numera i roa'a mai raro mai oia i te $1\ 000 \mu\text{Sv}\cdot\text{matahi}^{-1}$. Te ie nei ra, e numera huru tei tei ae o te ite hia mai i roto i te mau motu tei tei no roto mai oia i te mau mato, e i roto to'a i te mau ofa'i. Ua ite hia mai te faito tei tei roa ae i ni'a ia te moua ra o Taitaa i Tupuai i te matahiti 2013. Te matahiti 2014, teie noa ia te mau motu o tei tareta hia oia ho'i Tahiti, Moorea, Hao e te o Ma'areva ma.

Ua ha'a puai hia te hiopo'a ra'a o te vi'i vi'i atomi i te pae o te aru tai mareva i muri mai i te ati i tupu i Fukushima, tae noa tu i te matahiti 2015 i te pae o te moana. Au i te mau numera o te mau hiopo'a ra'a o tei rave hia i tye roa ra'a o te matahiti, te ha'a papu hia tu nei aore ia e vi'i vi'i i ite hia i roto ite to tatou oti'a moana no Porinetia nei mai te fenua Tapone mai. Te fa'a ite ato'a nei te mau hiopo'a ra'a o tei rave hia i nia te mau i'a i Porinetia ta'a toa mai te (aahi, haura, mahimahi e te paere) : aore ia te faito o te ^{137}Cs i puai atu au i te mau numera i ite hia i te mau matahiti i mairi a nei, aore roa tu te ^{134}Cs i ite hia na roto i te mau faito e te mau hi'o po'a ra'a i rave hia fa'aite mai te ore ra'a o te mau huru ia tere nei na te mau moana i vi'i vi'i hia.

Te mau imira'a i ha'amau hia mai no te ho'e tuatapapara'a i te mau vi'ivi'i i rave hia mai e te taata i roto i te mau tairoto no Porinetia Farani, i omua hia mai i te matahiti 2014 apiti hia mai e te pu maimira'a o te IFREMER te CRIOBE e te CNRS o te hope oia i te matahiti 2014 na roto oia i te ho'e tarimara'a i tupu rotopu i te hau fenua e te hau Farani.

Ho'e arata'i ra'a api o ti fa'anaho hia mai na roto ioa i te hi'opo'ara'a o tei ha'amau hia mai i te matahiti 2014 na roto ioa i te tuatapapara'a i te omua'a o te vi'ivi'i atomi vai nei i roto i te repo, oia hoi o te tumu matamua ia o te vi'ivi'i e haru hia mai e te mau ma'a tupu o teie mau tau. Te mau hi'opo'ara'a i te pae o te ^{137}Cs , radionucléide te ite hia mai i roto i te afara'a o te mau ma'a i hi'opo'a hia e te mau isotopes 238, 239, e te 240 o te plutonium, iti oia i te ite hia mai i roto ite mau ma'a, tera ra te vai papu noara te mau faito i ite hia mai i roto i te repo i te roara'a o te tau (tau vi'ivi'i atomi roa e iti o te tumara'a na roto i te pape ua). Te mau numera i faito hia mai i roto i te repo i Tahiti, Moorea, Hao e te mau motu i Ma'areva ma tei tea roa i ni'a i te faito hau atu i te 1 Bq/kg maro na reira to'a te ^{137}Cs e te $^{238+239}\text{Pu}$ i tetahi mau taime. Au i te tahi atu mau motu, ti nia ae te mau numera i ite hia mai i te te mau pae Ma'areva ma te pae o te Pu e te mau numera o te isotope $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ o tei ta'ae roa ia no te mau topara'a mai te mau vi'ivi'i atomi au i te mau tamatamata ra'a atomi i tupu i roto i te reva.

ABSTRACT

Exercised in Polynesia since 1962, the radiological monitoring of the environment, which takes place on seven islands (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva and Tubuai) representing the five archipelagos, and consists in taking regular samples of various kinds from the different environmental compartments (air, water, soil) with which the population may be in contact and foods. For the first time in 2014, IRSN have participated to the TURBO DGA and CEA program, in charge of the military atoll radiological monitoring, and have collected ocean samples at Moruroa.

Regarding food, the samples analysed are representative of the diet of Polynesians living in the five archipelagos of that territory, and from the marine environment of the open sea, from the lagoon environment and from the terrestrial environment.

Almost all samples are measured at the Laboratory for the Study and Monitoring of the Environment IRSN, based in Vairao on the island of Tahiti.

After a steady fall in radioactivity levels since the French atmospheric tests came to an end in 1974, the radiological level observed in 2014 has been stable in the recent year and is now very low. This residual radioactivity relates primarily to the ^{137}Cs . In term of additional dose, this artificial and residual radioactivity is lower than $5 \mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$ (5 microsieverts per year). This value corresponds to less than 0.5 % of exposure due to natural radioactivity in Polynesia (approximately $1,000 \mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$).

From 2010, monitoring of natural radioactivity was performed in several islands. Dose rates are very low, below $1,000 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$. However, highest results were observed when soils come from volcanoes rocks, like on the 'marae'. The highest value, $6,000 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$, was detected on the Taiata mount at Tubuai. In 2014, these maps concerned Tahiti, Moorea, Hao and Gambier islands.

Enhanced radiological monitoring of the environment set up in the wake of the Fukushima disaster, continued in 2014 in the marine field. The measurements carried out throughout the year confirm the lack of impact of the contamination of Japanese marine area in Polynesian waters. Samples of pelagic fish (tuna, swordfish, dolphinfish, wahoo...) were made in the vicinity of five Polynesian archipelagos: no increase of ^{137}Cs compared to previous years was observed and ^{134}Cs was never detected.

Beginning in 2009, the study of human contamination in the Polynesian lagoon in collaboration with IFREMER and CRIOBE (CNRS), financed by the "contrat de projet Etat-Pays" was achieved in 2014.

In 2014, a study of artificial radioactivity contained in soils, first way of radionuclides transfer to plants, begins. Analyses concerned ^{137}Cs , detected for more of fifty percent of food samples, and 238, 239 and 240 plutonium isotopes, infrequently detected in foods but with a concentration in soils stable during time (long time radioactivity period and not leaching by rain water). Sometimes, measured activity of ^{137}Cs and $^{239+240}\text{Pu}$ exceed 1 Bq/kg in the soils of Tahiti, Moorea, Hao and Gambier islands. Pu activities measured in the Gambier soils are higher than activities measured in the soil of other islands; the isotopic ratio are also different and denote the direct deposition of atmospheric nuclear tests.

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	6
1.1	RAPPEL DES MISSIONS DE L'IRSN	6
1.2	LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT EN FRANCE	7
1.3	L'ANTENNE POLYNÉSIEENNE DE L'IRSN	7
1.4	PRÉSENTATION DU RAPPORT ANNUEL 2014	9
2	DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA POLYNÉSIE FRANÇAISE ET DU MODE DE VIE DE SES HABITANTS	10
	Les îles hautes sélectionnées	10
	Les atolls sélectionnés	11
3	LOCALISATIONS ET PRÉLÈVEMENTS SÉLECTIONNÉS	12
3.1	LOCALISATIONS SÉLECTIONNÉES	12
3.2	PRÉLÈVEMENTS SÉLECTIONNÉS	12
	Prélèvements du domaine physique	13
	Prélèvements du domaine biologique	13

4	NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION	14
4.1	PRÉLÈVEMENTS D'ÉCHANTILLONS PHYSIQUES	15
	Radioactivité de l'air	15
	Radioactivité de l'eau	17
	Radioactivité dans les sols	18
4.2	PRÉLÈVEMENTS D'ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES	22
	Milieu marin	22
	Milieu terrestre	25
5	EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE	28
5.1	GÉNÉRALITÉS	28
5.2	LES DOSES REÇUES PAR LES POPULATIONS DU FAIT DE LA RADIOACTIVITÉ D'ORIGINE ARTIFICIELLE	29
	Dose efficace annuelle liée à l'exposition externe	32
	Dose efficace annuelle liée à l'inhalation	35
	Dose efficace annuelle liée à l'ingestion	35
6	CONCLUSION	38
7	RÉFÉRENCES	40

1 1

RAPPEL DES MISSIONS DE L'IRSN

Créé par l'article 5 de la loi 2001-398 du 9 mai 2001, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) est un établissement public industriel et commercial autonome, dont le fonctionnement a été précisé par le décret n° 2002-254 du 22 février 2002, modifié le 7 avril 2007.

Il est placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de la défense, de l'environnement, de l'industrie, de la recherche et de la santé.

Expert public en matière de recherches et d'expertises relatives aux risques nucléaires et radiologiques, l'Institut traite l'ensemble des questions scientifiques et techniques associées à ces risques, en France et à l'international.

Ses activités couvrent ainsi de nombreux domaines complémentaires : surveillance de l'environnement, intervention en cas de risque radiologique, radioprotection de l'homme en situation normale et accidentelle, prévention des accidents majeurs, sûreté des réacteurs nucléaires, usines, laboratoires, transports et déchets.

L'Institut est également présent dans le domaine de l'expertise nucléaire de défense.

L'IRSN concourt aux politiques publiques en matière de sûreté nucléaire, de protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants ainsi que de protection des matières nucléaires, installations et transports à l'égard du risque de malveillance. Il interagit, dans ce cadre, avec tous les acteurs concernés par ces risques : pouvoirs publics, et notamment les autorités de sûreté et de sécurité nucléaires, collectivités locales, entreprises, organismes de recherche, associations de parties prenantes, etc.

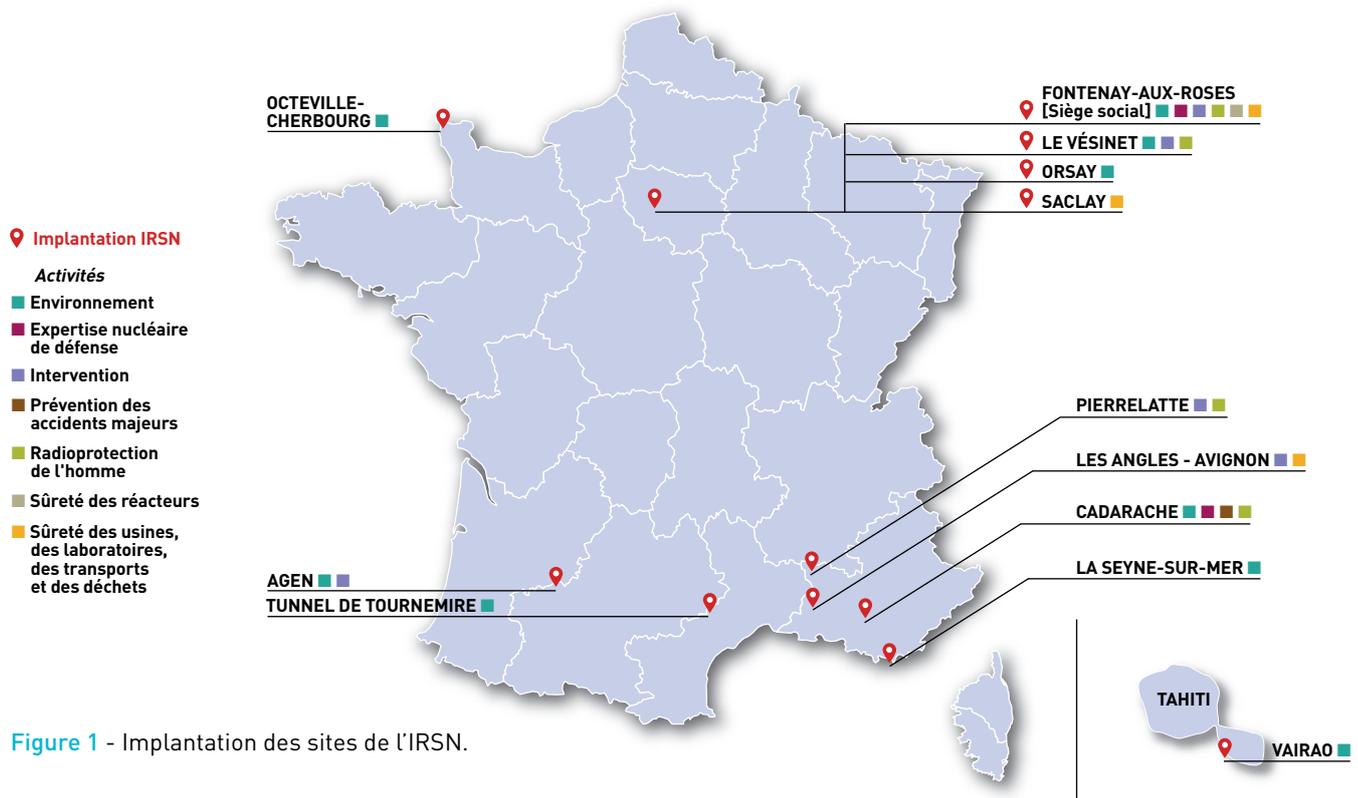


Figure 1 - Implantation des sites de l'IRSN.

1 2

LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT EN FRANCE

En France métropolitaine, une surveillance de la radioactivité de l'environnement est effectuée autour des sites nucléaires et sur le reste du territoire national. Cette surveillance implique des acteurs multiples, principalement les exploitants d'activités nucléaires, les autorités de sûreté nucléaire qui en assurent le contrôle et l'IRSN. D'autres acteurs de la société, notamment associatifs (commissions locales d'information, associations de surveillance de la qualité de l'air, associations de défense de l'environnement...), participent également à des activités d'étude ou de surveillance de la radioactivité de l'environnement.

1 3

L'ANTENNE POLYNÉSIIENNE DE L'IRSN

Le LESE (Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement, antenne polynésienne de l'IRSN) est implanté à Vairao depuis l'été 2009, après avoir été basé durant quarante-quatre ans à Mahina. Il effectue depuis 1962 une surveillance permanente de la radioactivité en Polynésie française. Depuis 1966, le rapport annuel correspondant à cette surveillance, hors les sites d'expérimentations de Moruroa et Fangataufa, est transmis à l'UNSCEAR via le ministère des Affaires Étrangères. En 2014, le LESE a été associé à la mission Turbo de DGA-CEA pour la mesure de la radioactivité dans des poissons et dans l'eau océanique en flanc d'atoll à Moruroa.

L'IRSN a participé le 26 mai 2015 à la première commission d'information du public (arrêté au JO du 19 mai 2015) sur l'impact sanitaire et environnemental des essais nucléaires réalisés sur Moruroa et Fangataufa.



La mission de l'IRSN en Polynésie française répond à un double objectif :

- suivre les niveaux de la radioactivité d'origine artificielle dans tous les milieux de l'environnement où vivent les populations polynésiennes, ainsi que dans les principales denrées alimentaires qu'elles consomment ;
- contribuer à l'évaluation des doses reçues par les populations polynésiennes.

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), qui ont provoqué des retombées de radionucléides artificiels à l'échelle planétaire, étalées sur plusieurs années. En Polynésie française, le LESE s'est plus particulièrement intéressé aux retombées des 41 essais atmosphériques réalisés par la France dans cette région du globe entre 1966 et 1974 et à leurs conséquences sur les populations.

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

Elle concerne plus particulièrement sept îles (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva et Tubuai) représentatives des cinq archipels. Elle consiste à prélever régulièrement et à mesurer la radioactivité des échantillons de nature variée (air, eau, sol, aliments...) dans les différents milieux avec lesquels la population peut être en contact.

Une vocation environnementale renforcée

La diminution dans l'environnement des niveaux de radioactivité d'origine artificielle conjuguée à la demande sociétale de toujours mieux caractériser les pollutions, aussi faibles soient-elles, conduit le LESE à infléchir progressivement sa stratégie de surveillance, en réorientant son réseau de mesures à vocation initialement sanitaire, vers un réseau qui doit permettre de mesurer aussi finement que possible les niveaux de radioactivité encore observables aujourd'hui dans l'environnement. Ainsi, depuis 2009, le laboratoire travaille au développement d'un observatoire des contaminants des lagons polynésiens, en partenariat avec l'IFREMER et le CRILOBE du CNRS. Ce projet, soutenu financièrement par le Secrétariat d'État à l'Outre-Mer (SEOM) de 2009 à 2011 [1] puis par le Contrat de projet État-Pays de 2012 à 2014 [2,3], a pour objectif de suivre la contamination d'un indicateur biologique (la nacre) en métaux, radionucléides, hydrocarbures et composés organochlorés.

Des expertises ponctuelles

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

Appui aux pouvoirs publics en situation de crise

Le LESE est également un appui aux pouvoirs publics ou à des sociétés privées pour des expertises ponctuelles (état de la qualité de l'environnement autour de sites, contrôles radiologiques...). La surveillance de la radioactivité en Polynésie française a commencé dès 1962, antérieurement à l'ouverture du CEP en 1964. Le laboratoire participe depuis l'origine à cette surveillance et à l'évaluation des conséquences dosimétriques de ces retombées dans le Pacifique. Dès l'origine, cette surveillance s'inscrit dans le cadre plus large du Réseau Mondial Français de Surveillance Radiologique (RMFSR).

Le faible nombre d'installations nucléaires dans l'hémisphère sud, éloignées des territoires français, rend très improbable une situation de crise radiologique. Cependant, même si un accident survenait dans l'hémisphère nord, les échanges commerciaux et la migration des poissons nécessiteraient des mesures de contrôle. Ainsi, en mai 2011, l'IRSN a renforcé ses contrôles pour confirmer l'absence d'impact radiologique en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie pendant plusieurs semaines après l'accident nucléaire au Japon. Cette 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. Depuis 2012, les prélèvements de poissons pélagiques ont été intensifiés sur l'ensemble de la ZEE (Zone Économique Exclusive) de la Polynésie française.

1 4 **PRÉSENTATION DU RAPPORT ANNUEL 2014**

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

Le chapitre 3 présente les sept zones de prélèvements et les trois grands types de prélèvements : ceux du milieu physique, ceux du domaine marin et ceux du domaine terrestre. La quasi-totalité des prélèvements des deux derniers types sont des constituants de la ration alimentaire des Polynésiens.

Les niveaux de la radioactivité des échantillons analysés en 2014 sont rapportés dans le chapitre 4.

Le chapitre 5 traite de la signification dosimétrique de ces niveaux de radioactivité. Les résultats des mesures d'exposition externe en 2014 dans différentes îles sont présentés sous forme de cartes.

Le chapitre 6 résume les principaux résultats de l'année 2014.

Un document annexe à ce rapport (rapport PRP-ENV/SESURE 2015-24 [4], consultable sur le site Internet de l'IRSN présente de façon plus exhaustive les résultats de l'année 2014 :

- niveaux d'activité du domaine physique ;
- niveaux d'activité du domaine biologique ;
- résultats des calculs dosimétriques ;
- résultats des débits de doses externes mesurés dans les îles.

L'évolution de la dose totale annuelle depuis 1982 est présentée sous forme graphique.

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

La Polynésie française est constituée de 118 îles, dont 76 sont habitées, regroupées en 5 archipels : Société, Tuamotu, Gambier, Australes et Marquises. Elle représente dans le Pacifique Sud une surface de 5 millions de kilomètres carrés d’océan, pour une superficie totale des terres émergées d’environ 3 500 km². La population compte moins de 270 000 habitants (recensement d’août 2012) et l’essentiel vit sur l’île de Tahiti (70 %).

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, 1 800 à 2 000 mm par an. L’ensoleillement est important, 250 h par mois à Tahiti (côte ouest). Les eaux des lagons sont chaudes, de 23 à 27°C toute l’année. Ces conditions favorisent un mode de vie essentiellement à l’extérieur des habitations.

Étant donné les grandes distances, les faibles populations impliquées et les différents modes de vie, 7 îles, de formation volcanique, représentatives des 5 archipels ont été retenues pour les prélèvements d’échantillons. On distingue les îles hautes des atolls.

Les îles hautes sélectionnées

- **Tahiti et Maupiti** de l’archipel de la Société
- **Mangareva** de l’archipel des Gambier
- **Tubuaiti** de l’archipel des Australes
- **Hiva Oa** de l’archipel des Marquises (Fig. 2)

Ces îles, avec parfois des vallées étroites et encaissées, peuvent culminer jusqu’à plus de 2 000 m. 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.



Figure 2 - Hiva Oa.

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, viande de porc). On y trouve également des produits importés, principalement de métropole, de Nouvelle-Zélande, des États-Unis et d'Asie.

Les autres **îles hautes** 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.

Les atolls sélectionnés

- **Rangiroa et Hao** (Fig. 3), de l'archipel des Tuamotu.

Ces îles basses ou atolls sont de simples anneaux de corail, à fleur d'eau, avec essentiellement des plantations de cocotiers.

Le régime alimentaire de leurs habitants est principalement constitué des produits de la pêche locale, de noix de coco et de quelques élevages familiaux : poulets, porcs... Les denrées importées sont en général moins nombreuses et arrivent plus irrégulièrement que dans les îles hautes.



Figure 3 - Le Lagon de Hao.

3

LOCALISATIONS ET PRÉLÈVEMENTS SÉLECTIONNÉS

3 1

LOCALISATIONS SÉLECTIONNÉES

Le choix des 7 îles retenues répond à plusieurs impératifs :

- couvrir géographiquement l'ensemble du territoire de la Polynésie française, presque 3 000 km d'est en ouest et 2 000 km du nord au sud ;
- tenir compte de la typologie des deux catégories d'îles : îles hautes et atolls ;
- respecter la démographie très hétérogène de ce territoire ;
- tenir compte de la position des deux atolls de Moruroa et Fangataufa, supports des essais nucléaires atmosphériques français de 1966 à 1974, et des vents dominants d'est, les Alizés, facteurs importants quant aux trajets des retombées de ces essais ;
- retenir les îles les plus peuplées de chaque archipel ; Maupiti est aussi retenue en plus de Tahiti car c'est l'île la plus à l'ouest de l'archipel de la Société et Hao est retenue en plus de Rangiroa compte tenu de l'étendue de l'archipel des Tuamotu et de sa plus grande proximité des sites d'essais.

3 2

PRÉLÈVEMENTS SÉLECTIONNÉS

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

- suivre les niveaux de la radioactivité d'origine artificielle dans l'environnement ;
- estimer l'exposition des populations à cette radioactivité artificielle.

Six correspondants permanents collaborent avec le laboratoire pour la récolte et l'envoi des échantillons, ceux de Tahiti étant collectés par le personnel du laboratoire. La pêche des deux poissons à Moruroa a été effectuée par l'équipe de la mission Turbo.

La baisse continue des niveaux de radioactivité dans l'environnement ne justifie plus d'analyser les mêmes échantillons prélevés dans la même île plusieurs fois dans l'année [5]. En 2014, le nombre total de prélèvements est de 194 : 53 pour le domaine physique et 141 pour le domaine biologique. La quantité d'échantillons a été réduite par rapport aux années précédentes au profit d'analyses de sols, de la réalisation de cartographies de débits de doses ambiants dans différentes îles et par une étude, entre 2009 et 2014, portant sur les suivis de la pollution radioactive et chimique dans des nacres placées en cage dans différents lagons des îles de la Société et dans le lagon de Rangiroa aux Tuamotu.

– Prélèvements du domaine physique

Il s'agit de prélèvements d'air par filtration, d'eau de pluie, de rivière (Fig. 4) et de source prélevés à Tahiti, d'eau de mer prélevée en lagon à Tahiti et en océan au large de Moruroa, ainsi que des sédiments et des sols prélevés sur les différentes îles. C'est la première année que des analyses de Pu dans les sols sont réalisées dans le cadre de cette surveillance.



Figure 4 - Prélèvement d'eau de rivière dans la vallée de la Faatautia (Hitiaa, côte est de Tahiti).

– Prélèvements du domaine biologique

Le nombre de prélèvements biologiques par île est de : 33 pour Tahiti, 19 pour Maupiti, 19 pour Tubuai, 13 pour Rangiroa, 22 pour Hiva Oa, 9 pour Mangareva, 12 pour Hao et 2 pour Moruroa. En complément, 9 échantillons de produits importés consommés dans tous les archipels ont été recueillis ainsi que 3 prélèvements de nacres de Takaroa transplantées en filières à Tahiti, à Maupiti et à Rangiroa.

Sur les 141 prélèvements effectués en 2014, 57 concernent le domaine marin, répartis en 3 catégories, les poissons de haute mer, les poissons de lagon, les autres prélèvements marins (crustacés...), et 84 concernent le domaine terrestre (Fig. 5).

■ Prélèvements de poissons de haute mer

Il s'agit de 42 prélèvements de poissons pélagiques (bonite, thazard, mahi mahi (dorade coryphène) et différentes espèces de thons).

■ Prélèvements de poissons de lagon

Ce sont 5 prélèvements de poissons, vivant dans le lagon ou à l'extérieur immédiat près du récif, appartenant au genre loche et mérou exclusivement. Jusqu'en 2010, plusieurs espèces différentes étaient analysées (lutjan, bec de cane, baliste...). Les loches et les mérours sont les plus aptes à concentrer le césium dans leur chair ; ils ont été retenus comme bio-indicateurs de la concentration du ^{137}Cs dans les lagons [5].

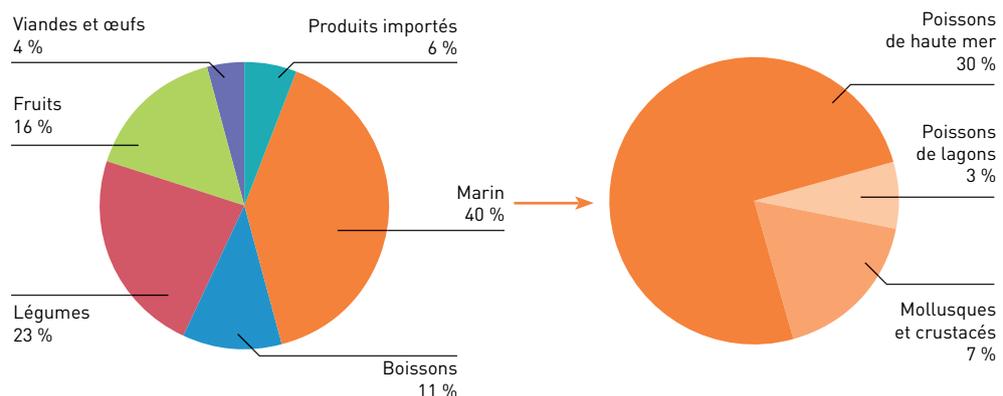
■ Autres prélèvements marins

Il y a 10 prélèvements de mollusques et crustacés : 5 bécards, 2 poulpes et 3 nacres.

■ Prélèvements du domaine terrestre

Les 84 prélèvements se répartissent en 15 boissons (4 eaux de boisson, 6 eaux de coco, 1 bière, 1 jus de fruit, 1 soda et 2 laits), 32 légumes (8 légumes-feuilles, 14 légumes-fruits et 10 légumes-racines), 22 fruits, 4 viandes et 2 œufs, et 9 prélèvements complémentaires relatifs à des produits d'importation (1 bière, 1 lait, 3 viandes et 4 autres produits divers : pâtes, pain, riz, pomme de terre).

Figure 5 - Répartition des prélèvements du domaine biologique.



4

NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ ET ÉVOLUTION

Toutes les mesures de radioactivité ont été réalisées à Tahiti par le LESE, à l'exception des prélèvements d'aérosols dont les analyses gamma (γ) ont été effectuées par le laboratoire IRSN/LMRE d'Orsay dans l'Essonne (91).

Pour la réalisation de ces mesures, le LESE dispose de divers équipements permettant la mesure directe par spectrométrie γ (Fig.6) ou après radiochimie sélective (Fig.7) pour les analyses alpha (α) de Pu. Ces dernières sont réalisées par une méthode spectrométrique qui permet de distinguer le ^{238}Pu des deux autres isotopes 239 et 240 dont la séparation en énergie n'est pas assez résolue pour les différencier. Le résultat concerne donc leur somme $^{239+240}\text{Pu}$.



Figure 6 - Spectromètre γ Ge HP bas bruit de fond équipé d'un veto cosmique (^{137}Cs , ^{60}Co ...).



Figure 7 - Laboratoire de radiochimie alpha (Pu).

Les résultats des mesures de strontium 90 sont tous inférieurs aux limites de détection ces dernières années. Ces analyses, restreintes aux poissons de lagon et au coprah depuis 2009 [5], ne sont plus réalisées depuis 2013.

4 1 PRÉLÈVEMENTS D'ÉCHANTILLONS PHYSIQUES

- Radioactivité de l'air -

Les prélèvements d'aérosols (Fig.8) sont réalisés en continu sur filtre avec une station à grand débit d'aspiration (environ 300 m³/h). Depuis 2011, la mesure des aérosols à Tahiti est réalisée sur la première décade de chaque mois. Les prélèvements de janvier et février 2014 n'ont pas été réalisés à la suite d'une panne de la station.

Le tableau 1 présente les activités moyennes annuelles en ¹³⁷Cs, ⁷Be, ²²Na, ⁴⁰K et ²¹⁰Pb, à Tahiti et à Orsay en région parisienne, pour ces 3 dernières années. Les incertitudes indiquées sont relatives à la mesure et non pas à une variabilité naturelle. Les activités moyennes mensuelles de 2014, ainsi que les volumes d'air prélevés pour chacune des périodes, relatifs aux stations de Tahiti et d'Orsay, sont fournis dans les tableaux AI-1 et AI-2 du rapport Annexes [4].



Figure 8 - Prélèvement d'aérosols.

Tableau 1 - Activités moyennes annuelles (μBq.m⁻³) de 2012 à 2014 pour les 5 radionucléides détectés dans les aérosols prélevés à Tahiti et à Orsay. Ces activités sont calculées à partir des activités moyennes mensuelles pondérées des volumes d'air prélevés.

Radionucléides	Activités en μBq.m ⁻³					
	Tahiti (Vairao)			Métropole (Orsay 91)		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Artificiels						
¹³⁷ Cs	0,06 ± 0,04	0,06 ± 0,04	0,06 ± 0,04	0,12 ± 0,08	0,16 ± 0,04	0,10 ± 0,04
Naturels						
⁷ Be	2 860 ± 860	1 960 ± 700	2 470 ± 730	3 000 ± 860	3 000 ± 500	3 300 ± 500
²² Na	0,26 ± 0,12	0,14 ± 0,08	0,23 ± 0,11	0,38 ± 0,15	0,34 ± 0,09	0,33 ± 0,09
⁴⁰ K	6,4 ± 2,3	5,1 ± 1,8	6,0 ± 2,1	5,2 ± 1,9	5,7 ± 1,2	6,7 ± 1,4
²¹⁰ Pb	82 ± 26	61 ± 19	70 ± 20	320 ± 100	330 ± 60	380 ± 60

Le seul radionucléide artificiel émetteur γ encore détectable en Polynésie française est le ^{137}Cs . Il témoigne de la rémanence des retombées anciennes des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Les résultats mensuels n'excèdent pas $0,10 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ($0,0000001 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) et la moyenne annuelle est comparable à celle des années précédentes. L'évolution de l'activité volumique du ^{137}Cs dans l'air à Tahiti et à Orsay montre une diminution

comparable, d'environ trois à quatre ordres de grandeur, entre 1971 et 2014 (Figures 9 et 10). La valeur moyenne annuelle à Orsay reste environ deux fois plus élevée que celle de Tahiti.

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

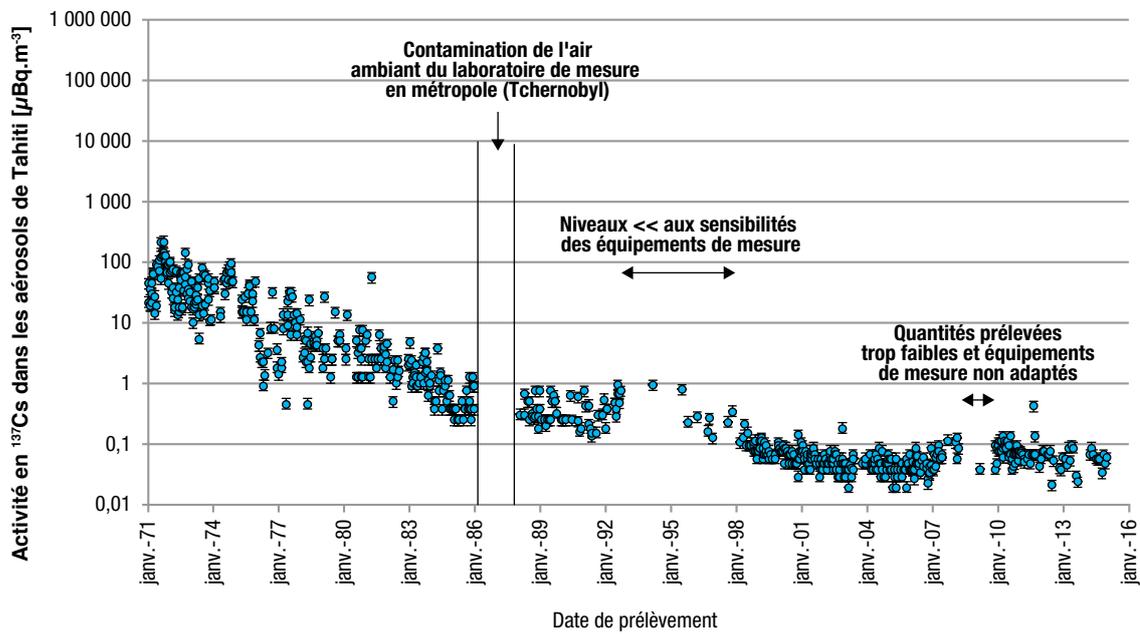


Figure 9 - Activité ($\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) en ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Tahiti de janvier 1971 à décembre 2014.

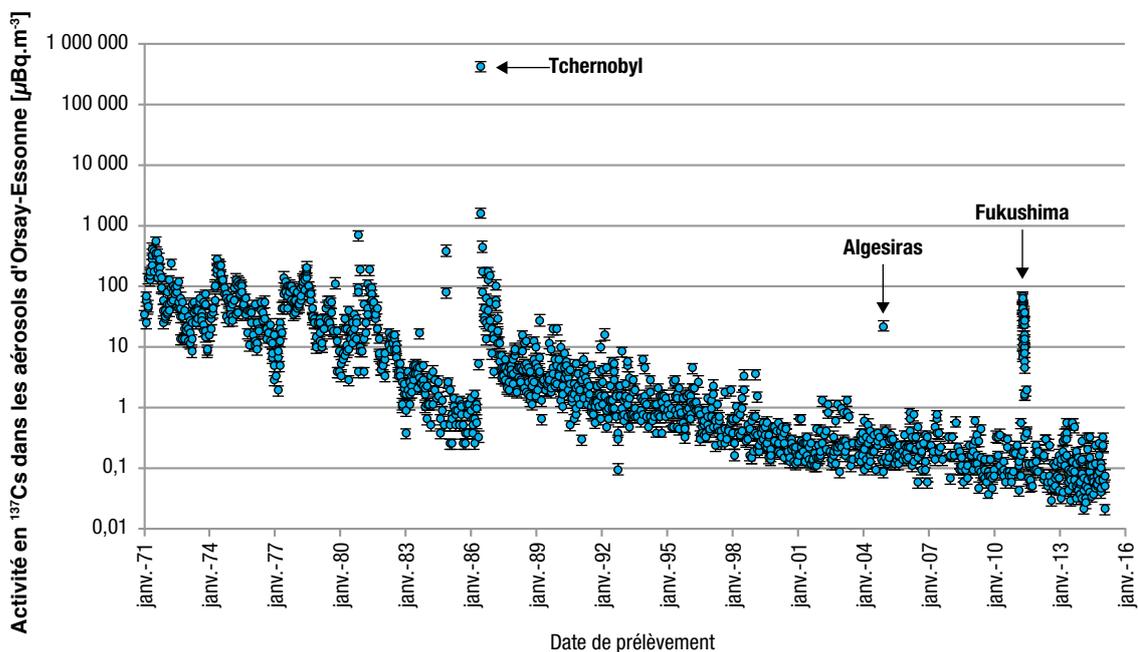


Figure 10 - Activité ($\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) en ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Orsay (Essonne) de janvier 1971 à décembre 2014.

Radioactivité de l'eau

L'eau de mer

En février 2015, l'Institut océanographique canadien Woods Hole a mesuré du césium 134 et du césium 137 (1,4 et 5,8 Bq.m⁻³ 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. Afin de vérifier un impact éventuel dans les eaux polynésiennes, la fréquence de prélèvement de l'eau de mer, annuelle auparavant, est devenue mensuelle en 2012. En 2013, 3 prélèvements ont été réalisés et 6 en 2014, dont 5 au sud de Tahiti (à Vairao) dans le lagon à 1,5 m de profondeur et 1 en océan au large de Moruroa (Tuamotu). La mesure des césiums (134 et 137), deux radionucléides massivement rejetés dans l'environnement lors de l'accident de mars 2011 au Japon, est réalisée par spectrométrie γ à l'issue d'un passage sur résine d'un volume de 100 à 200 L d'eau.

– La détection de l'isotope 134, dont la période radioactive est de 2,1 ans, caractérise l'impact de Fukushima. Cet impact devrait aussi être observé par l'augmentation de la concentration en ¹³⁷Cs.

– L'isotope 137, de période radioactive plus élevée, proche de 30 ans, préexiste dans l'environnement suite aux retombées mondiales des essais nucléaires atmosphériques (1,3.10¹⁸ Bq libérés dans l'environnement entre 1945 et 1980). Il provient aussi des retombées de l'accident de Tchernobyl (moins de 10¹⁷ Bq localisés en grande partie en Europe) ainsi que des rejets des usines de retraitement du combustible et des centrales électronucléaires (1,3.10⁸ Bq en 1999 pour un réacteur de 1300 MWe, en effluents liquides principalement).

Le ¹³⁴Cs n'a jamais été détecté dans ces prélèvements (Tab.AI-3 [4]) ce qui confirme que la concentration de ¹³⁷Cs observée est toujours issue des résidus des retombées des essais nucléaires atmosphériques anciens et que la contamination du domaine marin japonais n'est pas décelable dans les eaux polynésiennes.

CHRONIQUE : ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION DU ¹³⁷CS DANS L'EAU DE MER EN POLYNÉSIE DEPUIS 1983.

L'évolution de la concentration (exprimée en mBq.L⁻¹) du ¹³⁷Cs dans les eaux de mer de la ZEE (zone Économique Exclusive) de la Polynésie française (océan et lagon) de 1983 à 2014 est représentée sur la figure 11.

Les données ont été obtenues pour des échantillons prélevés à 10 m de profondeur en océan au large de Tahiti en 1983 et de 1985 à 1994, au large de Hao en 1984 et au large de Rangiroa en 1996. À partir de 1997 les prélèvements ont eu lieu à 1,5 m de profondeur, en océan au large de Tahiti de 1997 à 2005, dans le lagon à la pointe Vénus de 2006 à 2008 et dans le lagon de Vairao depuis 2009. En 2014, 1 échantillon prélevé en océan à 12 milles nautiques de Moruroa donne des résultats similaires aux 5 prélèvements provenant du lagon de Vairao. La diminution de la concentration du ¹³⁷Cs sur cette période de 30 ans correspond essentiellement à la décroissance radioactive de ce radionucléide. Ce constat indique que ce radionucléide se dilue peu dans la masse océanique mais reste plutôt concentré dans les eaux de surface.

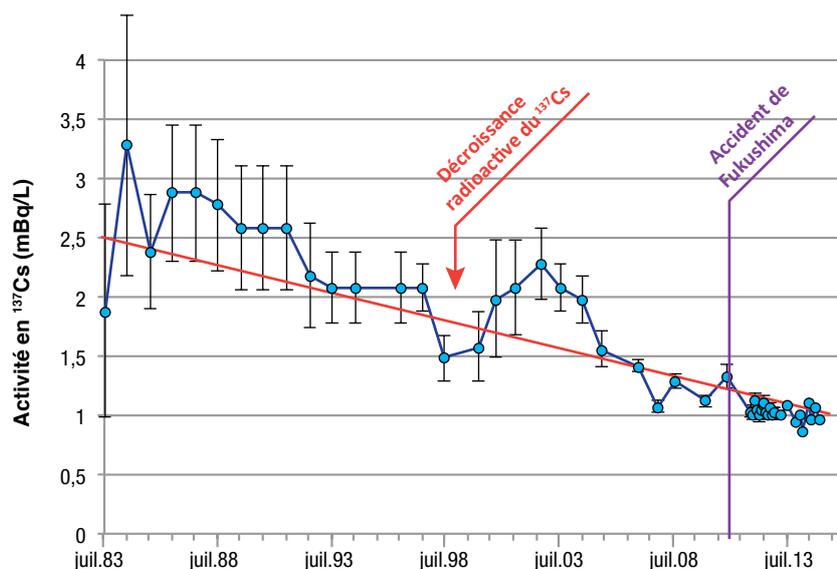


Figure 11 - Concentration du ¹³⁷Cs (mBq.L⁻¹) dans l'eau de mer océanique de 1983 à 2005, lagonaire depuis 2006. En 2014, 5 prélèvements proviennent du lagon de Vairao à Tahiti et 1 de l'océan au large de Moruroa.

Les valeurs moyennes de $1,04 \pm 0,06$ mBq.L⁻¹ pour le ¹³⁷Cs mesurées durant l'année 2014 à Vairao et $0,89 \pm 0,07$ mBq.L⁻¹ au large de Moruroa, sont proches de celles obtenues généralement dans cette zone de l'océan Pacifique et de celles obtenues depuis 2009 à Vairao et les années précédentes au nord de Tahiti (pointe Vénus – Mahina). La similitude des teneurs en ¹³⁷Cs dans les eaux lagunaires de Tahiti et océaniques à Moruroa 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 il y a près de 40 ans.

■ Les eaux douces

Le ¹³⁷Cs n'a pas été détecté dans les prélèvements d'eau douce (eaux de pluie¹ et de source collectées à Tahiti (Tab. AI-3 [4]), ni dans les eaux de boissons collectées à Maupiti (Tab. AII-3 [4]), à Hiva Oa (Tab. AII-5 [4]) et à Tubuai (Tab. AII-1 [4]). Tous les résultats sont inférieurs aux limites de détection (LD).

Par contre pour Tahiti, l'eau de boisson collectée sur le réseau de distribution de Vairao (eau de ville) présente des traces de ¹³⁷Cs à une teneur de $0,13 \pm 0,03$ mBq.L⁻¹ (Tab. AIII-7), équivalente à celles des eaux de rivière. L'eau de rivière collectée en 2014 dans la vallée de la Faatautia (Hitiaa, côte est de Tahiti) présente une teneur en ¹³⁷Cs de $0,21 \pm 0,03$ mBq.L⁻¹. Cette valeur, proche des limites de détection, n'est pas significativement différente des résultats des mesures réalisées de 2009 à 2013 pour une eau collectée dans une rivière de la presqu'île et les années précédentes sur des prélèvements au nord de Tahiti (Papenoo).

Le ⁴⁰K, dont l'origine est naturelle, est systématiquement détecté dans ces échantillons d'eaux douces.

— Radioactivité dans les sols —

La radioactivité d'origine artificielle dans l'atmosphère, inférieure à $0,1$ µBq/m³ en ¹³⁷Cs, contribue actuellement très faiblement à la contamination des denrées. La principale voie de transfert est le sol qui contient encore une fraction des retombées des essais nucléaires atmosphériques anciens. N'ayant que quelques données éparses sur les teneurs en radionucléides artificiels dans les sols de Polynésie française, une étude a été initiée en 2014. Les sites ont été choisis sur des zones où les sols ne semblent pas avoir été remaniés depuis le dernier essai atmosphérique français en 1974.

Les échantillonnages concernent Tahiti, Moorea, Hao et les îles Gambier. Onze sites d'échantillonnage à Tahiti et 5 à Moorea couvrent à peu près l'ensemble de ces îles dans des zones accessibles mais distantes des routes, des habitations et non cultivées. Pour Hao, 6 prélèvements concernent le principal motu habité de l'atoll, un autre provient du motu Ovaø près de la passe Kaki, ainsi que 91 autres principalement localisés sous 5 000 m² de dalles en béton ayant servi de site de nettoyage aux avions voutour qui traversaient les nuages radioactifs lors des essais atmosphériques. Ce contrôle a été réalisé à la demande du COMSUP dans le cadre des travaux de réhabilitation de l'atoll donnant lieu au démantèlement des ouvrages construits à l'époque du CEP – Centre d'étude du Pacifique. Aux îles Gambier, 3 échantillons proviennent de Mangareva, principale île habitée, et 3 autres proviennent d'îles peu habitées (Aukena, Akamaru et Taravai).

Les prélèvements ont été réalisés avec des carottiers (Fig. 12) ou à l'aide de spatules en fonction de la nature des sols (mamu/argile, terre végétale, corail...) conduisant à des surfaces et des profondeurs de prélèvement variables. Lors des prélèvements, la couche de débris végétale déposée en surface a été préalablement ôtée.

La description des échantillons et l'ensemble des résultats d'analyses sont indiqués en annexe [4]. Les analyses concernées par cette étude sont la spectrométrie γ bas bruit de fond et le Pu par spectrométrie α. Les seuls radionucléides artificiels décelés sont le ¹³⁷Cs et les isotopes du Pu (238 et 239+240), dont les activités moyennes et les teneurs extrêmes sont précisées dans le tableau 2.

1. 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 12 - Carottage de sol (mamou) au plateau de Taravao à Tahiti.

- Pour le ^{137}Cs , les résultats sont compris entre des valeurs en limite de détection (LD), 0,06 à 0,24 Bq/kg sec, et des activités mesurées à moins de 10 Bq/kg sec (Fig. 13). Les valeurs supérieures à 1 Bq/kg sec sont au nombre de 4/11 pour Tahiti, 2/5 pour Moorea, 6/6 pour les Gambier et 0/7 pour Hao (hors zone vautour). La valeur la plus élevée, 6,3 Bq/kg sec, provient d'un sol de Moorea (sous-bois proche du site du Belvédère) riche en matière organique (22 % en masse). La forte proportion de matière organique, 15 à 52 % en masse, dans tous les sols de sous-bois aux Gambier, est aussi à l'origine des teneurs en moyenne plus élevées que dans les autres îles. Au contraire, à Hao, les sols constitués quasi exclusivement de corail, avec 3 à 7 % en masse de matière organique, n'ont pas eu d'effet de rétention du césium. Les dépôts ont été lessivés par les pluies abondantes depuis plusieurs décennies. Dans les autres îles étudiées, la situation est intermédiaire par rapport à ces deux extrêmes.

Tableau 2 - Activités moyennes, exprimées en Bq.kg⁻¹ sec, en ^{137}Cs , en ^{238}Pu et en $^{239+240}\text{Pu}$, dans les sols de 2 îles de la Société, d'1 atoll des Tuamotu et de 4 îles des Gambier.

Radionucléides	Données statistiques	Activité (Bq.kg ⁻¹ sec)			
		Tahiti* (11 sites)	Moorea (5 sites)	Hao (7 sites)	Gambier (6 sites)
^{137}Cs	Nbre de valeurs significatives	9	5	0	6
	Moy $\pm \delta^{**}$	0,85 \pm 0,73	1,74 \pm 2,58	0,0636 \pm 0,0093	2,54 \pm 1,23
	min	\leq 0,24	0,192 \pm 0,067	\leq 0,054	1,256 \pm 0,099
	max	2,21 \pm 0,15	6,29 \pm 0,33	\leq 0,075	4,11 \pm 0,22
^{238}Pu	Nbre de valeurs significatives	10	5	6	6
	Moy $\pm \delta^{**}$	0,028 \pm 0,043	0,022 \pm 0,025	0,0043 \pm 0,0025	0,045 \pm 0,010
	min	\leq 0,0033	0,0018 \pm 0,0013	\leq 0,0053	0,0264 \pm 0,0062
	max	0,137 \pm 0,018	0,063 \pm 0,013	0,0067 \pm 0,0041	0,0555 \pm 0,0099
$^{239+240}\text{Pu}$	Nbre de valeurs significatives	11	5	7	6
	Moy $\pm \delta^{**}$	0,21 \pm 0,33	0,15 \pm 0,16	0,0354 \pm 0,0048	0,84 \pm 0,26
	min	0,0108 \pm 0,0041	0,0077 \pm 0,0027	0,0058 \pm 0,0041	0,469 \pm 0,030
	max	1,034 \pm 0,056	0,401 \pm 0,034	0,073 \pm 0,014	1,214 \pm 0,062

* 1 résultat pour chacun des 10 sites et moyenne de 2 prélèvements peu distants pour le site de Taravao (horizons 0 - 10 cm).

** les valeurs des LD sont prises en compte.

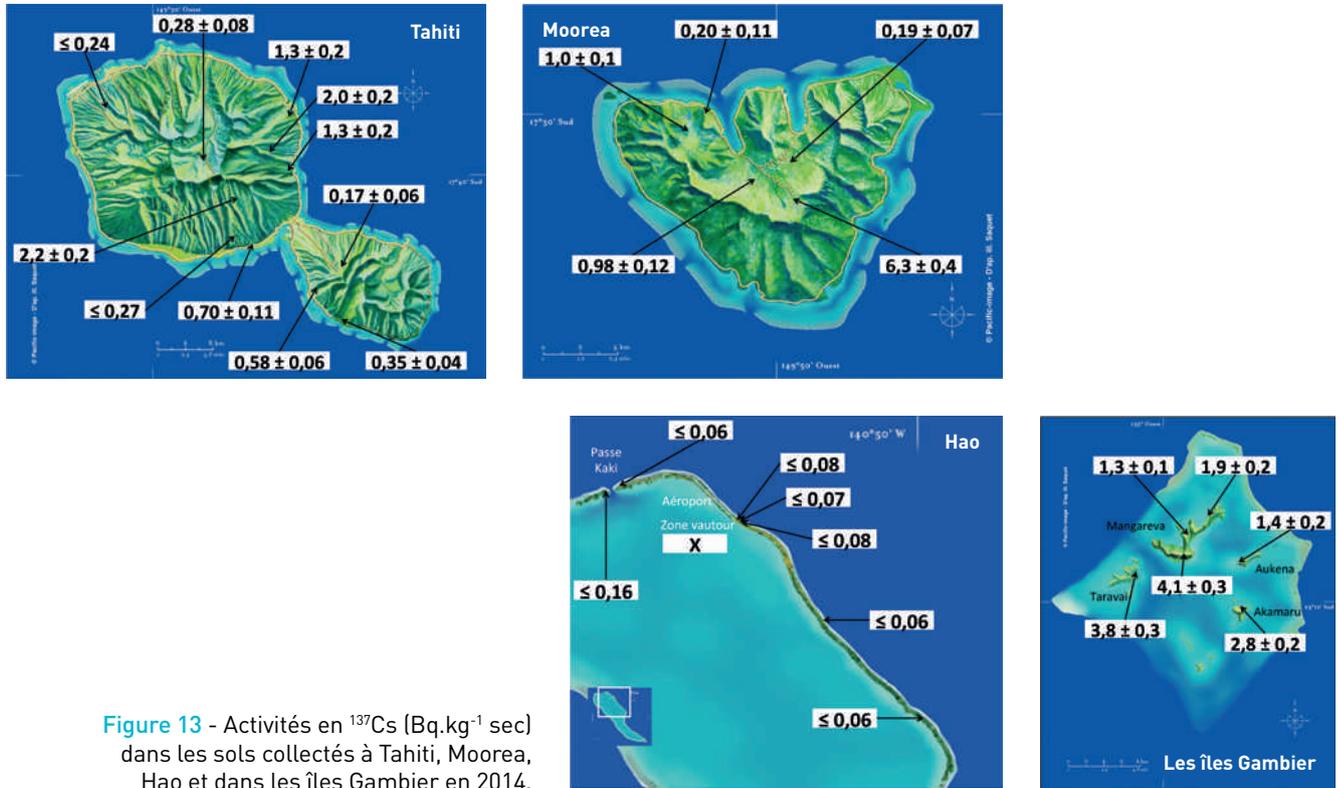


Figure 13 - Activités en ^{137}Cs ($\text{Bq.kg}^{-1} \text{sec}$) dans les sols collectés à Tahiti, Moorea, Hao et dans les îles Gambier en 2014.

- **Pour le Pu**, les activités sont inférieures à 2 Bq/kg sec (Fig. 14) sauf pour quelques prélèvements de la zone vautour de Hao. La valeur maximum mesurée sur ce site de lessivage des avions est de 142 Bq/kg sec en Pu total (somme des activités des trois isotopes 238, 239 et 240, l'isotope 238 étant minoritaire par rapport à la somme des deux autres). Le marquage de cette zone bien identifiée n'est pas directement lié aux retombées des essais atmosphériques mais par une activité de décontamination de matériel. En dehors de ce site spécifique, 2 sols sur 29 mesurés sont à des teneurs supérieures à 1 Bq/kg sec en $^{239+240}\text{Pu}$, $1,21 \text{ Bq/kg sec}$ pour un sol de l'île d'Akamaru aux Gambier et $1,03 \text{ Bq/kg sec}$ (moyenne de 2 échantillons peu distants) pour un sol du plateau de Taravao sur la presqu'île de Tahiti. Onze résultats sont compris entre $0,1$ et 1 Bq/kg sec , 3/11 à Tahiti, 3/5 à Moorea, 5/6 aux Gambier et 0/7 à Hao. En excluant les échantillons de la zone vautour, ceux des Gambier et ceux où le ^{238}Pu est inférieur à la LD, le rapport d'activité ^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$ est à peu près le même.

Ce rapport de 0,13 est établi par la droite de régression de la figure 15 (22 résultats pris en compte : 11 de Tahiti, 6 de Hao et 5 de Moorea). La valeur de la constante de l'équation de régression linéaire proche de zéro signifie que la contribution en ^{238}Pu suite aux retombées du satellite SNAP-9A en 1964² n'est pas significative. Les valeurs mesurées sont donc exclusivement associées aux retombées mondiales des essais nucléaires atmosphériques en Polynésie française. Aux Gambier, le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ est bien plus faible. Il est compris entre 0,05 et 0,07 pour les 3 échantillons provenant de Mangareva et pour chacun des échantillons provenant des îles d'Aukena, d'Akamaru et de Taravaï. Ce rapport spécifique aux Gambier caractérise les retombées issues de certains panaches radioactifs durant la période des tirs [6].

2. La destruction en haute altitude de ce satellite en 1964 a généré des retombées de ^{238}Pu principalement dans l'hémisphère sud.

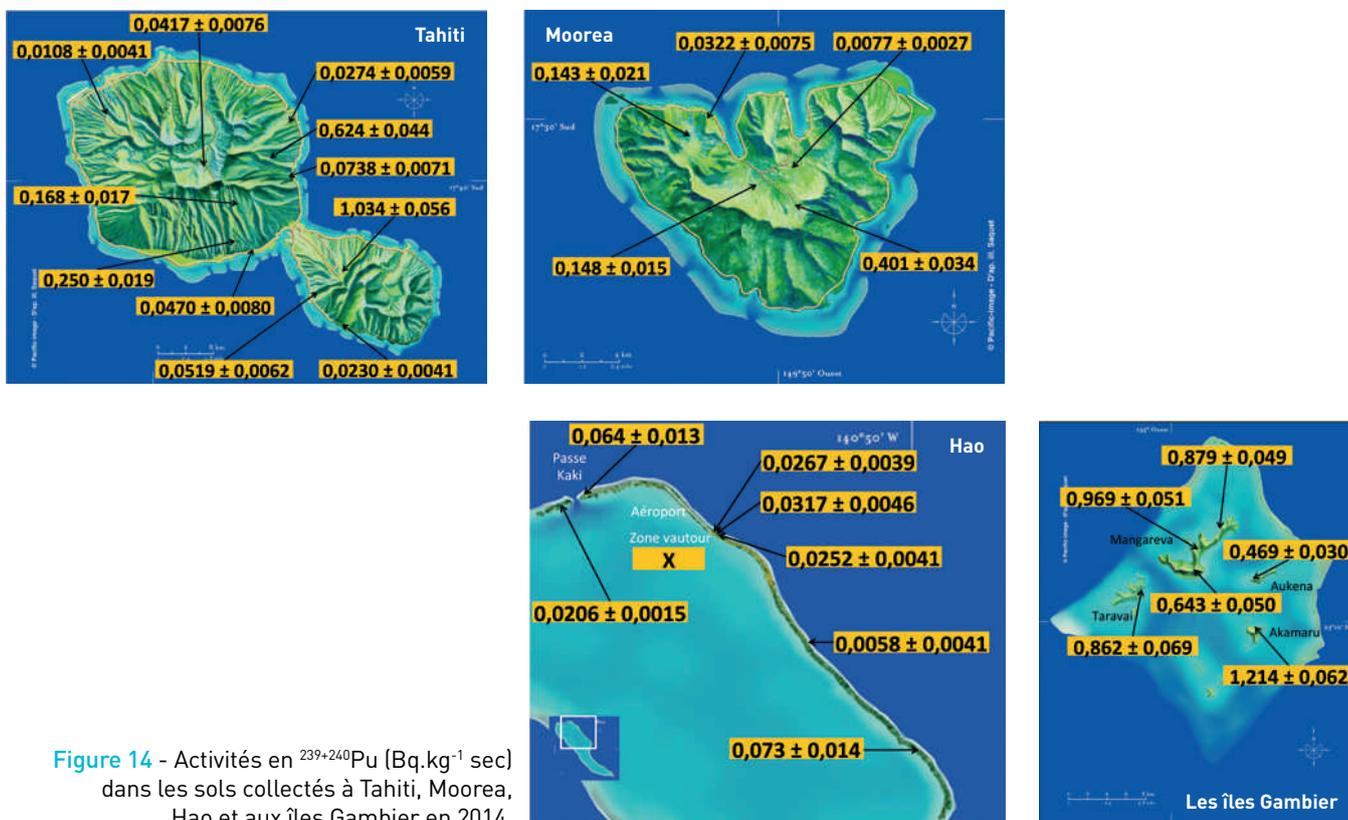


Figure 14 - Activités en $^{239+240}\text{Pu}$ ($\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) dans les sols collectés à Tahiti, Moorea, Hao et aux îles Gambier en 2014.

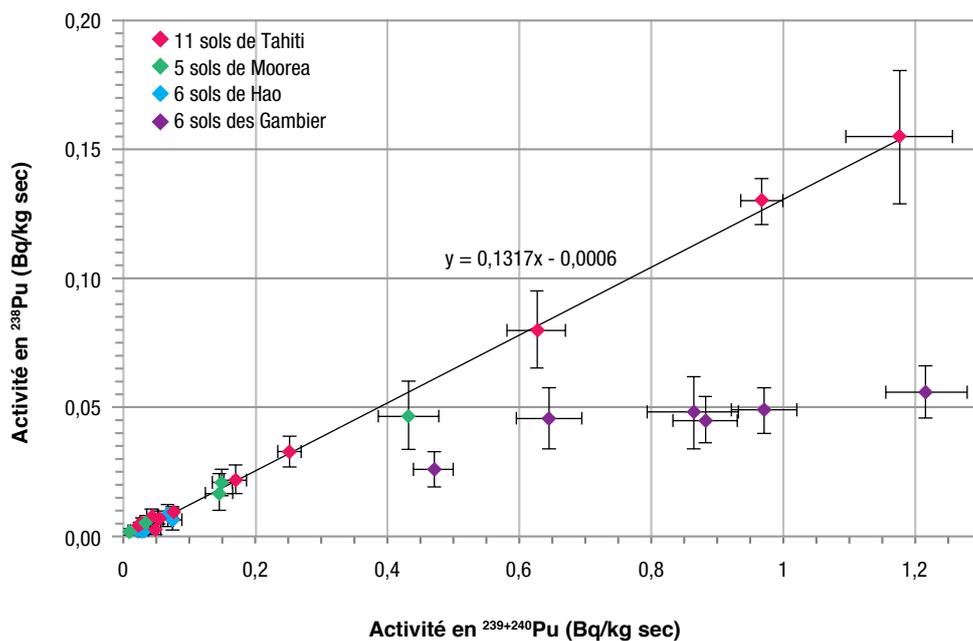


Figure 15 - Activités en ^{238}Pu en fonction de celles en $^{239+240}\text{Pu}$ ($\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) dans les sols collectés à Tahiti, Moorea, Hao et aux îles Gambier en 2014. La droite de régression ne concerne que les résultats de Tahiti, Moorea et Hao.

4 2 PRÉLÈVEMENTS D'ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES

Les analyses réalisées sur les échantillons biologiques, essentiellement représentés par des denrées alimentaires, portent sur la partie comestible. Les 141 prélèvements ont été mesurés par spectrométrie γ et 15 d'entre eux ont fait l'objet d'une radiochimie, suivie d'une spectrométrie α pour doser les isotopes du plutonium. Seules quelques traces de ^{137}Cs et de Pu ont été mesurées dans ces échantillons. Le ^{60}Co , qui était encore détecté sur quelques échantillons de bénéitiers ces dernières années, n'a jamais été décelé dans les échantillons analysés depuis 2011.

- Milieu marin -

Le ^{137}Cs dans l'eau de mer et l'ensemble des radionucléides émetteurs γ dans les poissons de haute mer et de lagon, pêchés et consommés par les Polynésiens, sont mesurés régulièrement. Suite à l'accident de Fukushima Daiichi, après une surveillance spécifique du milieu atmosphérique et terrestre en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie [7, 8], une attention particulière depuis septembre 2011 est portée aux poissons de haute mer pouvant véhiculer une contamination du Pacifique nord vers le Pacifique sud. La fréquence des prélèvements de poissons a été augmentée. 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 risque de réduire fortement la possibilité de mesurer le signal d'une contamination pour des espèces pêchées dans le Pacifique sud.

Ce transport de la radioactivité par des poissons pélagiques a été relaté en 2011 au voisinage des côtes californiennes où ont été pêchés des thons à nageoires jaunes et des thons rouges [9]. L'impact des rejets de l'accident de Fukushima, non détecté dans la chair des thons à nageoires jaunes (*thunnus albacares*), a cependant été observé dans la chair des thons rouges (*thunnus orientalis*) avec une valeur moyenne en ^{134}Cs de $4,0 \pm 1,4$ et $6,3 \pm 1,5$ Bq.kg⁻¹ sec en ^{137}Cs . En 2008, le ^{134}Cs n'était pas décelé et la teneur en ^{137}Cs était de $1,4 \pm 0,2$ Bq.kg⁻¹ sec. Le passage de certaines espèces dans les eaux contaminées et leurs migrations rapides sont à l'origine de ces observations.

Pour les espèces lagunaires, les prélèvements sont restés focalisés sur les mérous qui sont de bons intégrateurs du césium.

■ Poissons de haute mer

En 2014, 42 prélèvements de poissons pélagiques (bonite, thazard, dorade coryphène (mahï mahï, Fig. 16) et différentes espèces de thons provenant de pêches côtières ont été analysés en spectrométrie γ . Les résultats obtenus sont détaillés par île dans les tableaux All-1 à All-7 et All-9 [4].

En 2010, avant l'accident de Fukushima, le seul radionucléide d'origine artificielle détecté dans les poissons est le ^{137}Cs à très bas niveau, entre 0,34 et 1,32 Bq.kg⁻¹ de matière sèche, ce qui correspond pour cette dernière valeur à 0,44 Bq.kg⁻¹ de matière fraîche, très inférieure aux niveaux maximaux admissibles pour les denrées alimentaires (Cf. paragraphe « Commentaire général sur les concentrations en radionucléides mesurées dans les produits alimentaires »).

Les échantillons prélevés après l'accident de Fukushima, de septembre 2011 à décembre 2014, dans les eaux polynésiennes ne présentent aucune trace de ^{134}Cs .



Figure 16 - Dorade coryphène (mahï mahï).

Les limites de détection (LD) sont comprises entre 0,04 et 0,10 Bq.kg⁻¹ frais. Les activités en ^{137}Cs sont cohérentes avec les résultats obtenus les années antérieures comme le montre la figure 17. Les niveaux résiduels en 2014 restent assez homogènes (entre 0,08 à 0,32 Bq.kg⁻¹

frais), le maximum étant mesuré dans un thon à dents de chien provenant de Moruroa et dans un thazard provenant de Tubuai. Les poissons pêchés au voisinage de Moruroa ont des teneurs similaires à ceux provenant des autres îles (Cf. focus "Concentration du ^{137}Cs dans les poissons de haute mer pêchés au large de Moruroa et autres îles de Polynésie française"). Comme pour l'eau de mer, il n'y

a pas de marquage spécifique en ^{137}Cs dans ces poissons pêchés à proximité des anciens sites des essais nucléaires français du Pacifique.

Pour les autres radionucléides d'origine artificielle émetteurs γ comme le ^{60}Co , les résultats sont inférieurs aux limites de détection.

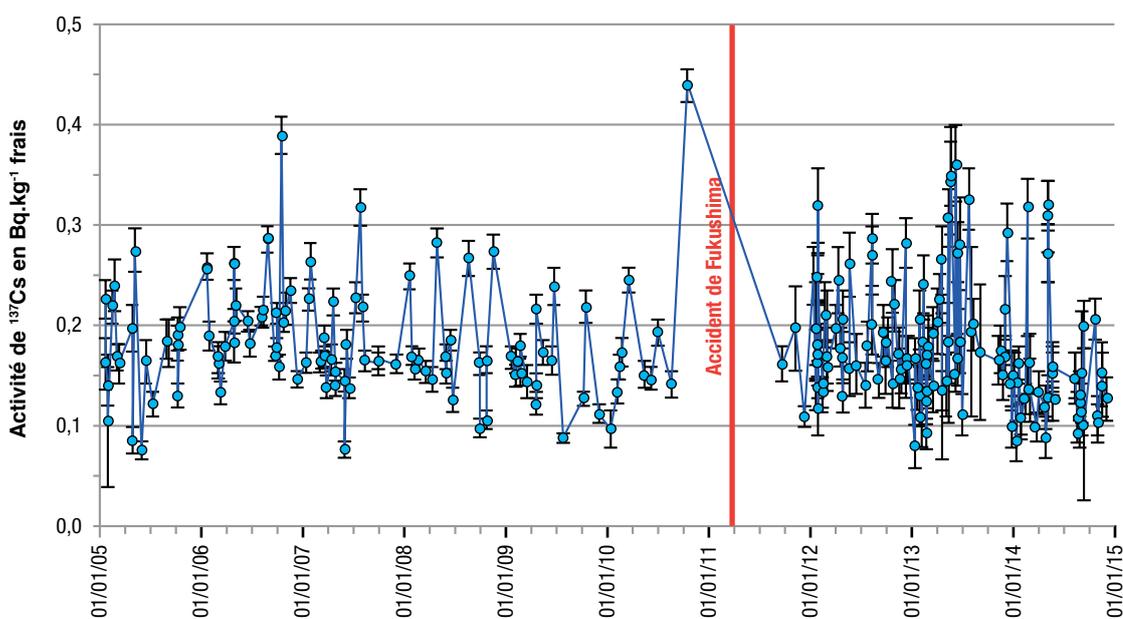


Figure 17 - Concentration en Bq.kg^{-1} de poids frais du ^{137}Cs dans les poissons de haute mer, toutes espèces confondues, prélevés au voisinage des côtes polynésiennes les mois précédant et suivant l'accident de la centrale japonaise de Fukushima Daiichi.

■ Poissons et autres produits marins de lagon

Quinze prélèvements ont été réalisés en 2014, 5 poissons (exclusivement des mérous et loches - Fig. 18) et 10 autres produits (bénitiers, poulpes et nacres). Tous ont été mesurés par spectrométrie γ .

Les 5 poissons, les 5 bénitiers et les 3 nacres ont fait l'objet d'une recherche du Pu. Les résultats d'activité sont présentés dans les tableaux All-1 à All-7 et All-9 [4].



Figure 18 - Loche marbrée.

Les niveaux de radioactivité restent très faibles quels que soient les échantillons et les lieux de prélèvements.

- Le ^{137}Cs peut encore être quantifié dans tous les poissons de lagon analysés, rarement dans les autres produits de lagon. Les concentrations dans les poissons, supérieures à celles mesurées dans d'autres organismes marins, en particulier dans les mollusques, s'expliquent par leur position plus élevée dans la chaîne trophique et par des phénomènes de rétention active du ^{137}Cs , analogue chimique du potassium, dans les muscles de poissons. Toutes les valeurs mesurées en 2014 sont inférieures à $0,10 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais.
- Le ^{60}Co n'a été que très rarement quantifié ces dernières années dans les échantillons analysés et uniquement dans les bénitiers qui, en filtrant l'eau de mer, concentrent

ce radionucléide. En 2014, les résultats restent inférieurs à la limite de détection (environ $0,06 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais pour les bénitiers et $0,09 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais pour les nacres).

- Les isotopes du Pu (^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$) ont été décelés en 2014 dans la chair des poissons uniquement à Tubuai à de très faibles concentrations ($0,12 \text{ mBq.kg}^{-1}$ frais en $^{239+240}\text{Pu}$). Par contre, comme les années précédentes, ces isotopes ont été quantifiés dans les 2 prélèvements de nacres analysés et dans les 5 bénitiers, la valeur la plus élevée étant à $5,7 \text{ mBq.kg}^{-1}$ frais pour le $^{239+240}\text{Pu}$ à Tubuai. L'activité de la somme des isotopes 239 et 240 est environ dix fois plus élevée que celle de l'isotope 238.

FOCUS : CONCENTRATION DU ^{137}Cs DANS LES POISSONS DE HAUTE MER PÊCHÉS AU LARGE DE MORUROA ET AUTRES ÎLES DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

Comme pour l'eau de mer, il n'y a pas de différenciation en fonction de la provenance en Polynésie française pour la concentration du ^{137}Cs dans les poissons de haute mer, avec des valeurs toutes inférieures à $0,4 \text{ Bq/kg}$ frais. La figure 19 regroupe les 25 mesures de ^{137}Cs obtenues par l'IRSN de janvier à juin 2014 pour des poissons de haute mer prélevés au voisinage des îles des 5 archipels ainsi que les 2 poissons prélevés le 7 mars 2014 au voisinage de Moruroa. On constate un résultat supérieur dans la chair

du thon à dents de chien de Moruroa par rapport aux autres espèces analysées (thon ou bonite) mais équivalent aux valeurs mesurées dans 4 échantillons de thazard provenant de Tubuai en 2014. Un constat identique était fait en 2013 avec des thazards de Maupiti et de Hao et avec un thon à dents de chien de Hao dont les résultats, proches de $0,3 \text{ Bq/kg}$ frais, étaient supérieurs aux résultats obtenus pour les autres espèces. Les mesures du Pu dans les poissons de haute mer de Moruroa sont équivalentes à celles obtenues dans le passé par l'IRSN dans les poissons prélevés dans les eaux océaniques des 5 archipels.

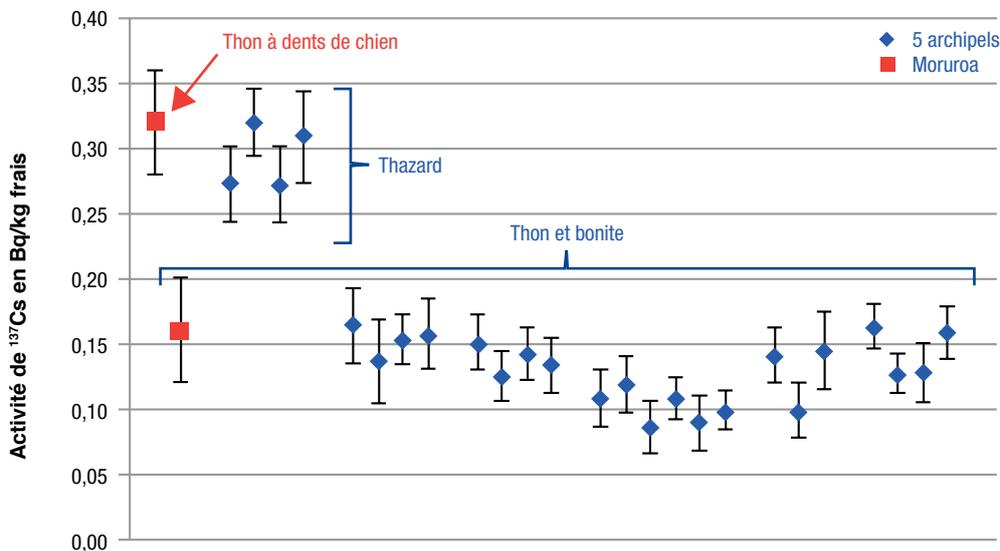


Figure 19 - Activité du ^{137}Cs (Bq/kg frais) dans les poissons de haute mer prélevés en Polynésie française au 1^{er} semestre 2014.

Milieu terrestre

Lait de vache

Le lait de vache est mesuré avec des fréquences variables depuis les années 70. À la suite de l'accident de Fukushima, des analyses hebdomadaires du 16 mars au 11 mai puis mensuelles jusqu'à la fin de l'année 2011 ont été réalisées dans des échantillons de lait entier provenant du plateau de Taravao à Tahiti.

En 2014, deux échantillonnages ont été réalisés. Les teneurs en ^{137}Cs (Tab. All-7 [4]) sont restées cohérentes avec les teneurs mesurées ces dernières années et antérieurement à l'accident : aucune trace de ^{134}Cs , de ^{60}Co ou de ^{131}I n'a été décelée dans ces échantillons. Les activités du ^{137}Cs sont comparables à celles observées en Nouvelle-Zélande en 2012 [10]. Comme les années précédentes, la concentration en ^{137}Cs dans le lait entier local est légèrement supérieure à celle du lait UHT importé (limite de détection à $0,04 \text{ Bq.L}^{-1}$ en 2014 pour un échantillon provenant de France métropolitaine).

Depuis les années 1980, on observe (Fig. 20) une décroissance très lente de la radioactivité dans le lait (pente bleue), bien plus lente que celle observée pendant les essais nucléaires atmosphériques dans les années 70 (pente rouge). La décroissance de l'activité en ^{137}Cs mesurée dans le lait après les essais aériens peut être mise en lien avec une diminution rapide de l'activité en ^{137}Cs dans les sols par lessivage de ces derniers. En effet, le ^{137}Cs accumulé dans les sols est absorbé par les plantes consommées à leur tour par le bétail. Ainsi, la pente de décroissance plus lente correspondrait à une mobilisation des dépôts anciens fixés de césium. En outre, les variations observées peuvent être mises en relation avec des facteurs de transferts sol-plantes environ cent fois supérieurs à ceux mesurés généralement en Europe [11] ainsi qu'aux variations de l'enfouragement et des compléments alimentaires donnés au bétail auxquels s'ajoutent des sources d'abreuvement multiples.

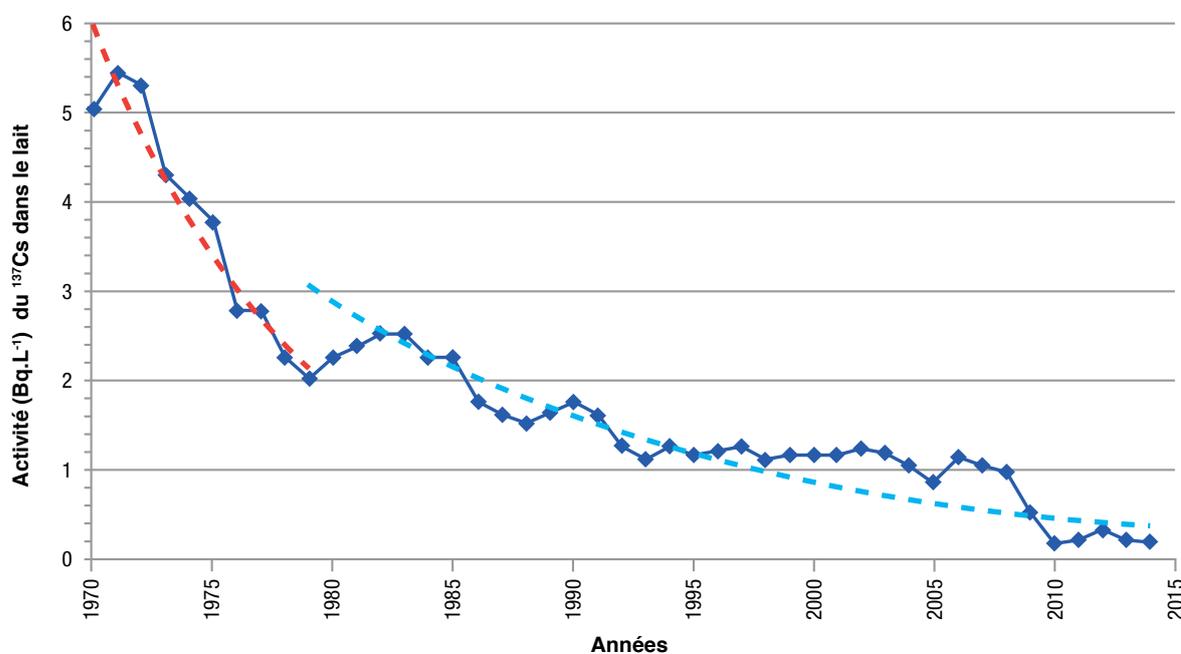


Figure 20 - Évolution depuis 1970 de l'activité en ^{137}Cs (Bq.L^{-1}) du lait provenant des vaches du plateau de Taravao à Tahiti.

Autres prélèvements d'origine terrestre

En 2014, 73 prélèvements (hors lait) de denrées d'origines locale et régionale provenant des 5 archipels, ont été réalisés : 13 boissons, 32 légumes, 22 fruits, 4 viandes et 2 œufs, auxquels s'ajoutent 8 prélèvements de produits importés.

Les résultats des analyses par spectrométries γ et α pour le Pu sont présentés dans les tableaux de l'annexe II [4]. Depuis 2011, seuls les prélèvements de coprah donnent lieu à une analyse en Pu [5].

- Plus de la moitié des analyses permettent encore de quantifier des traces de ^{137}Cs et 2 mesures (viande de bœuf de Tahiti et coprah de Tubuai) donnent des valeurs supérieures à 1 Bq.kg^{-1} frais (c'était le cas de 5 mesures en 2013). Les phénomènes de dilution dans l'environnement rendent de plus en plus difficile la mesure de ce radionucléide dont la persistance, liée à sa période radioactive (30 ans), est de plusieurs centaines d'années. En 2014, les mesures de ^{137}Cs sur la viande d'agneau importée de Nouvelle-Zélande donnent des résultats inférieurs à la LD

FOCUS : CONCENTRATION DU $^{239+240}\text{Pu}$ DANS LE COPRAH PRÉLEVÉ DANS LES ÎLES DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

La collecte de la chair de coco (coprah à l'état sec) est très répandue dans les îles de Polynésie française, principalement dans les atolls des Tuamotu où la population y trouve l'un de ses principaux revenus. Une fois séché, le coprah est exporté comme matière première vers l'huilerie de Tahiti pour la fabrication du monoï. Bon intégrateur du ^{137}Cs , la chair de coco est aussi l'un des rares produits d'origine terrestre où le plutonium peut parfois être décelé. Analysé systématiquement depuis une dizaine d'années dans chacune des îles concernées par la surveillance exercée par l'IRSN, le Pu lorsqu'il est décelé est à des teneurs inférieures à $0,1 \text{ mBq/kg}$ frais comme le montre la figure 21 sur les 72 échantillons mesurés depuis 2007 seules 11 analyses ont donné des résultats significatifs. Ces faibles activités ont été détectées principalement à Mangareva (Gambier) et à Tahiti (La Société) alors que tous les résultats concernant les échantillons de Hiva Oa (Marquises) et de Tubuai (Australes) sont inférieurs à la LD.

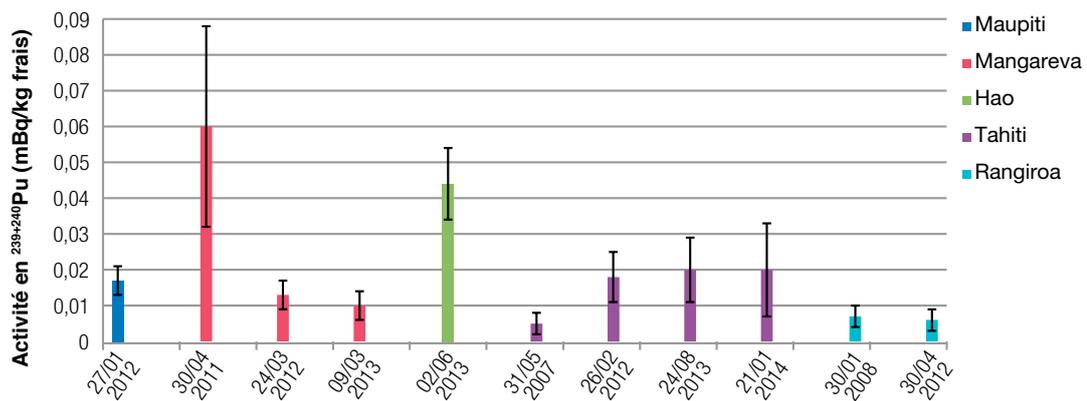


Figure 21 - Activité en $^{239+240}\text{Pu}$ (Bq.kg^{-1} frais) dans le coprah prélevé dans les îles des 5 archipels de la Polynésie française depuis 2007 (les résultats inférieurs à la LD ne sont pas reportés, tous les résultats à Hiva Oa et à Tubuai sont inférieurs à la LD).

(< 0,04 Bq.kg⁻¹ frais) alors qu'elles étaient « anormalement » élevées en 2013 (4,3 Bq.kg⁻¹ frais) par rapport aux années passées (une teneur élevée, 2,5 Bq.kg⁻¹ frais, avait aussi été obtenue en 2008).

- Le ⁶⁰Co n'est jamais quantifié dans ces échantillons du milieu terrestre.
- Sur les 6 échantillons de coprah prélevés, les mesures des isotopes du Pu donnent des résultats inférieurs à la LD ou à des valeurs très proches des LD, n'excédant pas 0,03 mBq.kg⁻¹ frais.

■ Commentaire général sur les concentrations en radionucléides mesurées dans les produits alimentaires

À titre indicatif, les concentrations mesurées dans l'ensemble des denrées alimentaires sont très faibles par rapport aux niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour bétail. Ces niveaux, fixés par le règlement (Euratom n° 3954/87 et n°944/89), sont indiqués dans le tableau 3 ci-après et comparés aux valeurs maximales mesurées dans ces mêmes aliments en 2014 en Polynésie française.

Tableau 3 - Niveaux maximaux admissibles (NMA) de contamination radioactive pour les denrées alimentaires (règlement Euratom n° 3954/87 et 944/89) comparés aux concentrations maximales mesurées en 2014 dans les denrées de Polynésie française.

NMA en Bq.kg ⁻¹ et concentrations maximales mesurées dans les aliments en Polynésie française en Bq.kg ⁻¹						
Radionucléides	Lait et aliments pour nourrissons		Autres denrées		Liquides	
	NMA	Mesure 2014	NMA	Mesure 2014	NMA	Mesure 2014
¹³⁷ Cs ou ⁶⁰ Co	400	0,19 ± 0,03 ³	1 250	12,3 ± 0,6 ⁴	1 000	0,41 ± 0,03 ⁵
Plutonium et émetteurs alpha	1	nm ⁶	80	0,0057 ± 0,0001 ⁷	20	nm ⁶

³ Valeur mesurée sur un échantillon de lait de Tahiti

⁴ Valeur mesurée sur un échantillon de bœuf de Tahiti

⁵ Valeur mesurée sur un échantillon d'eau de coco à Rangiroa

⁶ nm : non mesuré

⁷ Valeur mesurée dans un bénitier prélevé à Tubuai

EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

5 1 GÉNÉRALITÉS

L'ensemble des sources de radioactivité d'origine naturelle ou artificielle contribue à l'exposition des individus. L'exposition de la population par 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/an au niveau de la mer ;
- à l'exposition par ingestion de radionucléides naturels présents dans les aliments et l'eau de l'ordre de 0,25 mSv/an (0,18 mSv/an environ imputable au seul potassium 40) ;
- 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. Il est relativement faible en Polynésie française (moins de 0,05 mSv) alors qu'il peut atteindre, dans certaines régions du globe, plusieurs mSv/an (8 à 17 mSv/an dans certaines zones du Brésil par exemple) ;
- 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. Compte tenu de la nature des sols en Polynésie, non granitiques et contenant peu d'uranium (en dehors de l'île de Makatea riche en phosphate et en uranium) et du mode de vie des habitants (maisons largement ouvertes et donc bien aérées), l'accumulation de radon existant est négligeable. La dose associée à la présence de radon en Polynésie française est relativement faible, elle est évaluée à 1 mSv/an.

On estime ainsi que la radioactivité naturelle induit en Polynésie française une exposition cumulée de l'ordre de 1 à 2 mSv/an.

À cette exposition liée à la radioactivité naturelle, il convient de comparer l'exposition liée à la **radioactivité d'origine artificielle**. Compte tenu de la spécificité des activités nucléaires en Polynésie française : absence d'installation nucléaire industrielle mais réalisation d'essais d'armes nucléaires atmosphériques des années 1966 à 1974, la radioactivité d'origine artificielle est essentiellement due aux facteurs suivants :

- les rémanences des retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires sources de ^{137}Cs , de ^{90}Sr , de ^3H , ^{14}C et des isotopes de l'uranium et du plutonium :
 - 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, ils contribuent alors à **l'irradiation externe** ;
 - ils sont ensuite incorporés dans les denrées issues de la culture ou de la pêche locales (coprah, poissons de lagon, eau de coco, lait et viande de bœuf essentiellement) et constituent ainsi une source de **contamination par ingestion**.
- les 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 ;
- les examens et traitements médicaux : dans les pays industrialisés, une personne reçoit en moyenne 1,6 mSv chaque année, la moyenne mondiale s'établit aux alentours de 0,6 mSv.an⁻¹.

L'objectif des chapitres suivants est d'estimer les doses reçues par les populations du fait de la radioactivité d'origine artificielle liée à l'ingestion des denrées locales ou importées, à l'exposition externe due aux radionucléides présents dans l'air et le sol et à l'inhalation des radionucléides en suspension dans l'air.

5 2 LES DOSES REÇUES PAR LES POPULATIONS DU FAIT DE LA RADIOACTIVITÉ D'ORIGINE ARTIFICIELLE

Les effets sur les individus dus à l'exposition aux radionucléides ne se mesurent pas directement. Ils 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). 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'irradiation 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 résiduelle, calculées dans ce rapport sont constituées de trois composantes :

- l'exposition externe, due principalement à l'activité contenue dans le sol ;
- l'inhalation, due à la radioactivité transportée par les aérosols ;
- l'ingestion, due à l'alimentation et aux boissons.

Les résultats de mesures inférieurs à la limite de détection (LD) sont pris égaux à la LD, par convention. Il convient de noter que ce mode de calcul simplificateur est inexact et peut entraîner des biais dans l'estimation de la dose reçue. La méthodologie de calcul de la dose est en cours de réévaluation : un exemple de ce qui pourrait être réalisé à l'avenir est donné dans le focus sur la méthodologie proposée dans le cadre de l'évaluation de la dose apportée par l'ingestion de nourriture par la population soumise à l'influence des installations nucléaires sur le sol métropolitain français (voir page 30). Il convient de signaler que cette méthodologie serait bien sûr adaptée aux conditions locales de la Polynésie française : absence d'installations nucléaires, très faible variation des niveaux de radioactivité, régimes alimentaires spécifiques...

Les coefficients de dose par unité d'activité inhalée et unité d'activité ingérée pris en compte sont ceux recommandés respectivement par la CIPR 71 [12] et CIPR 67 [13].

L'ensemble des résultats bruts est détaillé dans les tableaux de l'annexe III [4]. Ces doses sont relatives à chaque lieu de prélèvement et pour deux groupes de populations : les adultes et les enfants de moins de 5 ans.

FOCUS :
L'ACTUALISATION DU CALCUL
DE DOSE LIÉE À L'INGESTION :
POUR UN CALCUL PLUS
JUSTE ET MOINS COMPLEXE

Comme le montrent les calculs faits dans le cadre du bilan radiologique réalisé sur le territoire métropolitain, seuls certains radionucléides présents dans quelques compartiments de l'environnement contribuent majoritairement à l'exposition (ceci étant vrai quel que soit le mode d'exposition). En Polynésie française depuis plus de 10 ans les calculs de dose liée à l'ingestion de denrées montrent une stabilisation des contributions. De ces constats est née la décision de repenser le mode

de calcul de la dose liée à l'ingestion des denrées en Polynésie française. Ce nouveau mode de calcul sera mis en œuvre dès le prochain rapport à paraître en 2016.

L'un des objectifs de la surveillance radiologique de l'environnement est de contribuer à évaluer l'exposition de la population à la radioactivité environnementale au travers d'estimations dosimétriques. Lorsque l'activité (exprimée en becquerel) de l'air, d'un sol ou d'une denrée, peut être mesurée, il est possible de calculer la dose (exprimée en sievert) qui peut en résulter et qui est, elle, représentative du risque pour la santé. Contrairement au bilan radiologique de la Polynésie dans lequel un impact dosimétrique est évalué depuis plusieurs années, le bilan radiologique métropolitain se limitait jusqu'à aujourd'hui à présenter les activités environnementales mesurées. La raison invoquée est que, pour de nombreux radionucléides, les rejets radioactifs liés au fonctionnement normal des installations nucléaires, sont trop faibles pour que les activités environnementales qu'ils génèrent soient quantifiables par la mesure. Il n'est donc pas possible, en se basant uniquement sur des résultats de mesure, de calculer une dose qui prenne en compte tous les radionucléides potentiellement présents dans toutes les composantes de l'environnement. Cependant, les doses estimées exclusivement par calculs (modélisation) à partir des rejets des installations nucléaires montrent que seulement quelques radionucléides dans quelques composantes de l'environnement contribuent très majoritairement à l'exposition de la population. Dans le cas d'une centrale électronucléaire par exemple, plus de 90 % de la dose potentiellement reçue par la population locale sont liés aux seuls tritium et carbone 14.

Or, les résultats acquis dans le cadre des divers programmes de surveillance radiologiques (réalisés par les exploitants nucléaires dans le cadre ou en supplément des exigences réglementaires, par l'IRSN ou par des associations) montrent que ces radionucléides sont effectivement mesurés autour de ces sites dans les composantes de l'environnement susceptibles d'exposer le public. Il est donc possible d'évaluer l'essentiel voire la quasi-totalité des doses potentiellement reçues par les personnes résidant autour de la plupart des sites nucléaires français, à partir des résultats de mesures issus des différents programmes de surveillance radiologique de l'environnement.

Aussi pour la première fois, le bilan radiologique métropolitain portant sur la période 2011-2014, comporte, pour la plupart des sites nucléaires, des évaluations dosimétriques basées sur des résultats de mesure acquis dans différents cadres de surveillance, réglementaires ou supplémentaires à la réglementation. La présentation s'attache à établir le lien entre les rejets, les activités environnementales mesurées et les conditions (scénarios) d'exposition de la population. Elle permet ainsi d'identifier clairement les radionucléides, pratiques et comportements qui conduisent aux doses les plus élevées. Ce bilan montre que les radionucléides prédominants (souvent très largement) dans les rejets, sont ceux pour lesquels l'influence du site est la plus visible dans l'environnement au travers des mesures et qui contribuent le plus à l'exposition de la population locale. De manière générale, si l'on excepte quelques cas particuliers, les doses sont dues à la consommation de denrées locales. Une consommation qui peut concerner une part importante de la population lorsqu'il s'agit d'eau de boisson, de denrées agricoles ou issues de la pêche commerciale, ou une très petite partie de cette population lorsqu'il s'agit d'une prise issue d'une pêche de loisir. Les doses qui vont de moins de 0,1 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ à quelques $\mu\text{Sv}/\text{an}$ sont le plus souvent tout à fait concordantes avec celles évaluées au moyen de modèles par les exploitants nucléaires. Par ailleurs, la plupart des résultats sont présentés sous forme de chroniques temporelles qui permettent au lecteur de juger de l'évolution des rejets, des activités environnementales qui en résultent et donc des doses associées.

Pour ce qui est de l'évaluation de la dose liée à l'alimentation sur le territoire polynésien, elle fera également l'objet d'évolutions prochaines, dans le but de simplifier les calculs de dose aujourd'hui réalisés qui s'avèrent fastidieux et obsolètes pour les raisons suivantes :



- La ration alimentaire qui sert de base à cette évaluation a fortement évolué ces dernières décennies (introduction importante dans la ration de denrées importées telles que la viande de Nouvelle-Zélande, de boissons variées, de pâtes, riz ou de produits laitiers...). Ainsi bien que réévaluée en 1991, la ration alimentaire « type » qui date de 1982 n'est plus d'actualité et il serait fastidieux et coûteux de la réévaluer.
- Certains radionucléides artificiels issus des retombées des tirs atmosphériques mondiaux ou ceux réalisés en Polynésie française ne sont aujourd'hui plus mesurés dans les denrées, compte tenu des très faibles teneurs rencontrées dans l'environnement, c'est le cas notamment du ^{90}Sr . Aussi le calcul de dose relative à l'ingestion de ces radionucléides n'est plus estimé.
- Lorsque les radionucléides présents à l'état de traces continuent à être mesurés, c'est le cas du ^{137}Cs notamment, les techniques de mesure utilisées ne permettent pas toujours de quantifier avec certitude le radionucléide recherché : on parle alors de limite de détection qui indique une valeur en dessous de laquelle il n'est pas certain que le radionucléide soit présent. Par convention, c'est la valeur de la limite de détection qui est retenue pour le calcul de dose, ce qui revient à surestimer la quantité réelle de radionucléide ingérée (et donc la dose associée) et à effacer toute variation environnementale. En effet, la dose n'est plus liée qu'à la performance des instruments de mesure.
- L'évolution de la dose annuelle liée à l'ingestion au cours du temps (figure 22) montre une nette stabilisation depuis les années 2000. Aujourd'hui cette dose s'est stabilisée à une valeur de l'ordre de $4\ \mu\text{Sv}/\text{an}$ pour l'adulte et $3,5\ \mu\text{Sv}/\text{an}$ pour l'enfant (ce qui est cohérent avec la stabilité observée des niveaux de radioactivité dans les denrées et les composantes de l'environnement). Par conséquent réaliser des calculs complexes et fastidieux avec des données immuables ne présente pas d'intérêt majeur.

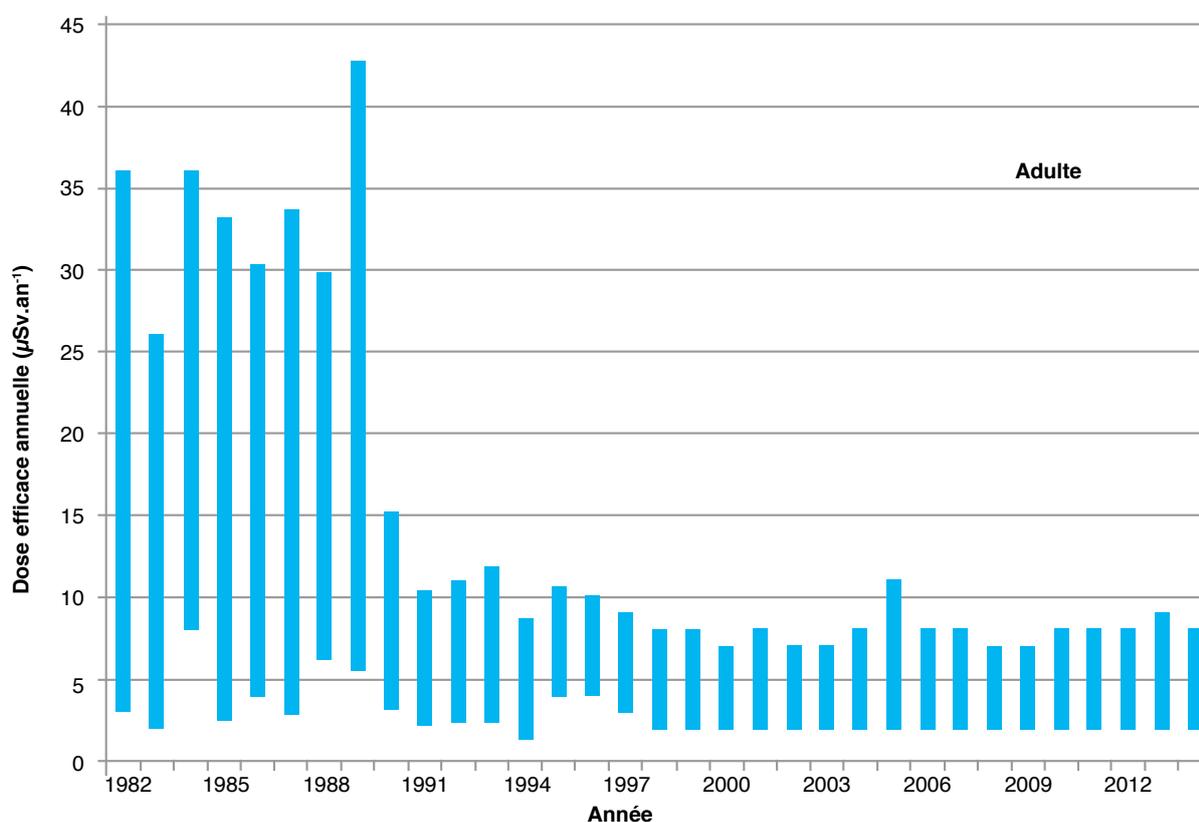


Figure 22 - L'évolution de la dose annuelle liée à l'ingestion chez l'adulte : stable depuis la fin des années 1990 (l'écart observé en 2005 est lié à une activité particulièrement élevée en ^{137}Cs dans la viande bœuf de Taravao...).

- Dose efficace annuelle liée à l'exposition externe —

L'exposition externe ambiante en Polynésie française est essentiellement d'origine naturelle. Il s'y ajoute une faible contribution d'origine artificielle provenant des retombées des anciens essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère.

La dose efficace ajoutée d'origine artificielle, due à l'exposition externe, estimée à partir du dépôt de ^{137}Cs (seul radionucléide artificiel émetteur γ encore décelable dans les sols) est au maximum de quelques $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Les valeurs de dose externe sont relatives aux activités en ^{137}Cs dans des sols prélevés en 2000 à Faa'a pour l'île de Tahiti, et en 2005-2006 pour les autres îles [14].

MESURE DE L'EXPOSITION EXTERNE DANS LES ÎLES DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

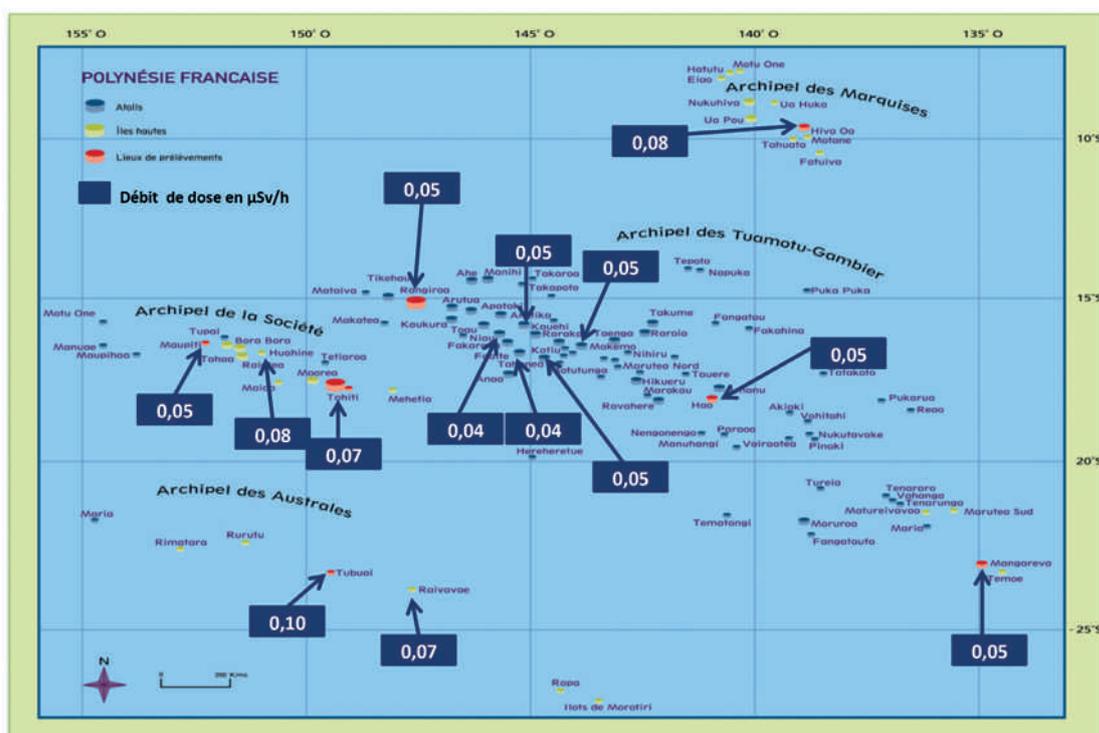
Des mesures d'exposition externe ont été effectuées dans 14 îles et atolls de Polynésie française entre janvier 2010 et janvier 2014 [17]. Des cartographies plus précises ont été réalisées pour Tahiti, Hao et Mangareva (Gambier) en 2014 en plus de celles de Moorea, ainsi qu'une mesure par site pour 3 autres îles et un motu des Gambier (Aukena, Akamaru, Taravai et Totegegie) (Tab.4). Les mesures avec les débitmètres Saphymo AD6 sont minorantes d'environ 30 % car les rayonnements de grande énergie (photons supérieurs à 1,3 MeV d'origine cosmogénique et tellurique) ne sont pas pris en compte. Les valeurs mesurées sont ainsi corrigées de 30 %. La valeur moyenne par île, en $\mu\text{Sv}/\text{h}$, est indiquée sur la carte de la figure 23 sur laquelle sont aussi précisées les îles dans lesquelles les prélèvements annuels d'échantillons sont réalisés. La précision statistique des mesures est de 25 %.

Tableau 4 - Synthèse des débits de doses mesurés en 2014 dans les îles de la Polynésie française.

Archipel	Île	Nbre de points de mesure	Débits de dose ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		
			Moyenne $\pm \delta$	Minimum	Maximum
Société	Tahiti	113	0,08 \pm 0,02	0,05	0,14
Société	Moorea	37	0,10 \pm 0,06	0,04	0,24
Tuamotu	Hao	20	0,05 \pm 0,01	0,04	0,07
Gambier	Mangareva	21	0,05 \pm 0,02	0,04	0,08
	Aukena				
	Akamaru				
	Taravai				
	Totegegie				



Figure 23 - Valeur moyenne de l'exposition externe mesurée entre 2010 et 2014 dans différentes îles de Polynésie française.



On constate des débits de dose très faibles sur toutes les îles ([17] et A-IV[4]). Les valeurs dans les atolls des Tuamotu sont particulièrement basses car les sols sont principalement d'origine corallienne alors qu'ils sont d'origine volcanique dans les îles hautes des autres archipels (Gambier, Société, Marquises, Australes). Pour ces dernières, certaines valeurs peuvent être 5 à 10 fois plus élevées que la valeur moyenne dans l'île.

Les mesures de débit de dose ont été réalisées pour 113 sites sur l'île de **Tahiti** (Société) avec des valeurs dispersées entre 0,05 et 0,14 µSv/h, conduisant à une dose moyenne de 0,08 µSv/h (Fig. 24). Dans la zone urbanisée autour de Papeete, entre Faa'a et Mahina, la densité des points de mesure est plus élevée (Fig. 25). On y retrouve la même gamme de résultat que dans le reste de l'île. Les résultats sont peu dépendants de l'altitude, de la proximité de la mer ou du degré d'urbanisation. Il n'y a pas de zone se démarquant par une concentration de résultats plus élevés.

Pour **Moorea**, 37 mesures ont été réalisées tous les 4 km le long de la route littorale et à l'intérieur de l'île (Fig. 26). Les résultats sont un peu plus dispersés que sur l'île sœur de Tahiti, entre 0,04 et 0,24 µSv/h avec une valeur moyenne de $0,10 \pm 0,06$ µSv/h.

Pour l'atoll de **Hao** (Tuamotu), 20 mesures de débit de dose ont été réalisées sur l'unique motu habité (Fig. 27), avec une densité de points de mesure plus élevée au niveau du village. Les résultats sont nettement plus faibles et moins dispersés que sur les îles hautes, entre 0,04 et 0,07 $\mu\text{Sv/h}$ avec une valeur moyenne de $0,05 \pm 0,01 \mu\text{Sv/h}$. Ce sont des valeurs très similaires à celles obtenues pour les autres atolls des Tuamotu [8] du fait de la nature exclusivement corallienne des sols.

Pour les **Gambier**, 21 mesures ont été réalisées (Fig. 28), 17 d'entre elles concernant l'île principale de Mangareva où vivent pratiquement tous les habitants de l'archipel. Elles sont réparties le long de la route littorale tous les 3 km, sur l'une des traversières et sur le chemin menant au sommet du mont Duff. Quatre mesures ont été effectuées sur 3 autres îles : Aukena, Akamaru et Taravai ainsi que sur le motu Totegegie où se situe l'aéroport. Les résultats, plus proches de ceux obtenus dans les atolls des Tuamotu que ceux des îles hautes de la Société, des Australes et des Marquises, sont compris entre 0,04 et 0,08 $\mu\text{Sv/h}$ avec une moyenne de $0,05 \pm 0,02 \mu\text{Sv/h}$.

Mesures de débit de dose (en $\mu\text{Sv/h}$) réalisées en 2014.



Figure 24 - À Tahiti.

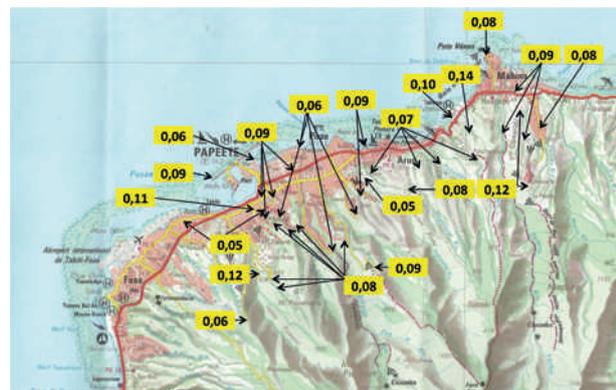


Figure 25 - Dans la zone urbanisée de Faa'a à Mahina (Tahiti).

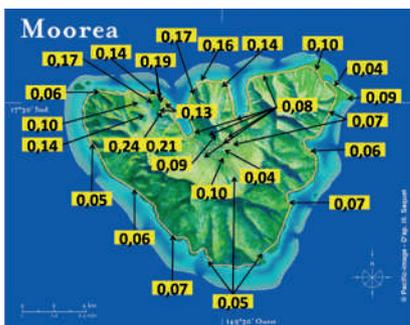


Figure 26 - À Moorea.

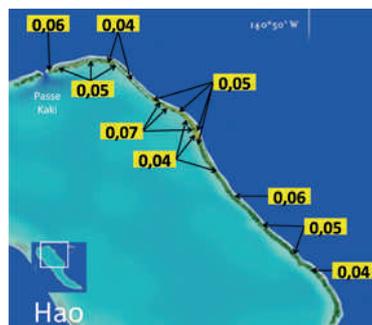


Figure 27 - À Hao.

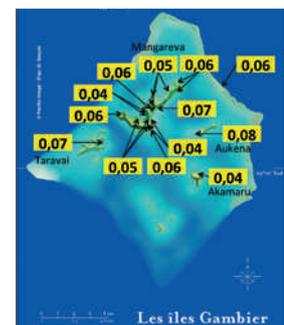


Figure 28 - Aux Gambier.

- Dose efficace annuelle liée à l'inhalation _

La dose efficace d'origine artificielle ajoutée par l'inhalation, calculée à partir de la concentration en ^{137}Cs mesurée dans l'air à Tahiti est inférieure à 10^{-5} $\mu\text{Sv}/\text{an}$, aussi bien pour les adultes que pour les enfants de moins de 5 ans. Elle est considérée comme négligeable en comparaison des deux autres composantes que sont l'ingestion et l'exposition externe.

- Dose efficace annuelle liée à l'ingestion _

La dose efficace annuelle d'origine artificielle ajoutée par l'ingestion est calculée à partir de la ration alimentaire (enquête de 1982 [15] réactualisée en 1991), qui distingue les produits d'origine strictement locale, les produits d'origine régionale polynésienne et les produits importés. Tous les produits importés ont été mesurés en 2014 sauf les yaourts pour lesquels la production locale est maintenant très développée alors que le produit importé est rare et cher. Il n'est plus justifié dans la ration alimentaire des produits importés.

Depuis 2011, les produits, dont la quantité consommée est inférieure à 5 kg par an, sont mesurés une fois tous les 5 ans au lieu d'une mesure annuelle auparavant [5]. Le calcul de dose inclut alors la même valeur durant cinq années pour chacun des produits concernés. Lorsque l'échantillonnage est manquant, le calcul de dose est effectué avec les résultats du prélèvement réalisé l'année précédente (ou dans les années antérieures) dans la même île et, à défaut, avec les résultats obtenus pour la même denrée sur une autre île.

À des niveaux de radioactivité aussi faibles que ceux observés en Polynésie française, la variabilité de l'échantillonnage est le principal facteur explicatif des différences temporelles et géographiques des doses calculées ces dernières années. Afin de limiter cet effet, les quantités prélevées sont importantes (plusieurs kilogrammes). De plus, les analyses de la radioactivité de ces échantillons sont améliorées (durée de mesure plus longue, détecteur de grande efficacité) afin de diminuer les limites de détection. Ces variations dans les doses ne traduisent donc pas une tendance évolutive de la radioactivité dans l'environnement. Elles reflètent principalement la variabilité d'une année à l'autre des concentrations qui peuvent être mesurées dans certaines denrées, locales ou importées.

La variation significative des doses (Fig. 29) d'une année à l'autre est due à quelques denrées comme la viande de bœuf, incluse dans la ration alimentaire et pour laquelle les activités de ^{137}Cs sont très variables d'un prélèvement à l'autre (comme le montre la figure 30). En 2014, la concentration de ^{137}Cs dans la viande de bœuf de Tahiti est de $12,3 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ frais, alors qu'elle était de 6,6 en 2013 et de 2,5 en 2012⁸.

8. Cette relation forte entre la dose calculée à partir de la radioactivité d'origine artificielle et le résultat variable d'une année à l'autre de la concentration de ^{137}Cs dans une seule denrée est aussi observée pour les produits importés. En 2013, une valeur de $4,3 \text{ Bq}/\text{kg}$ frais dans la viande d'agneau importée de Nouvelle-Zélande (des valeurs équivalentes ont déjà été mesurées : 2,5 en 2008 et $3,7 \text{ Bq}/\text{kg}$ frais en 2005) fait doubler, par exemple pour les adultes de Maupiti, la dose d'origine artificielle engendrée par la consommation de l'ensemble des produits importés.

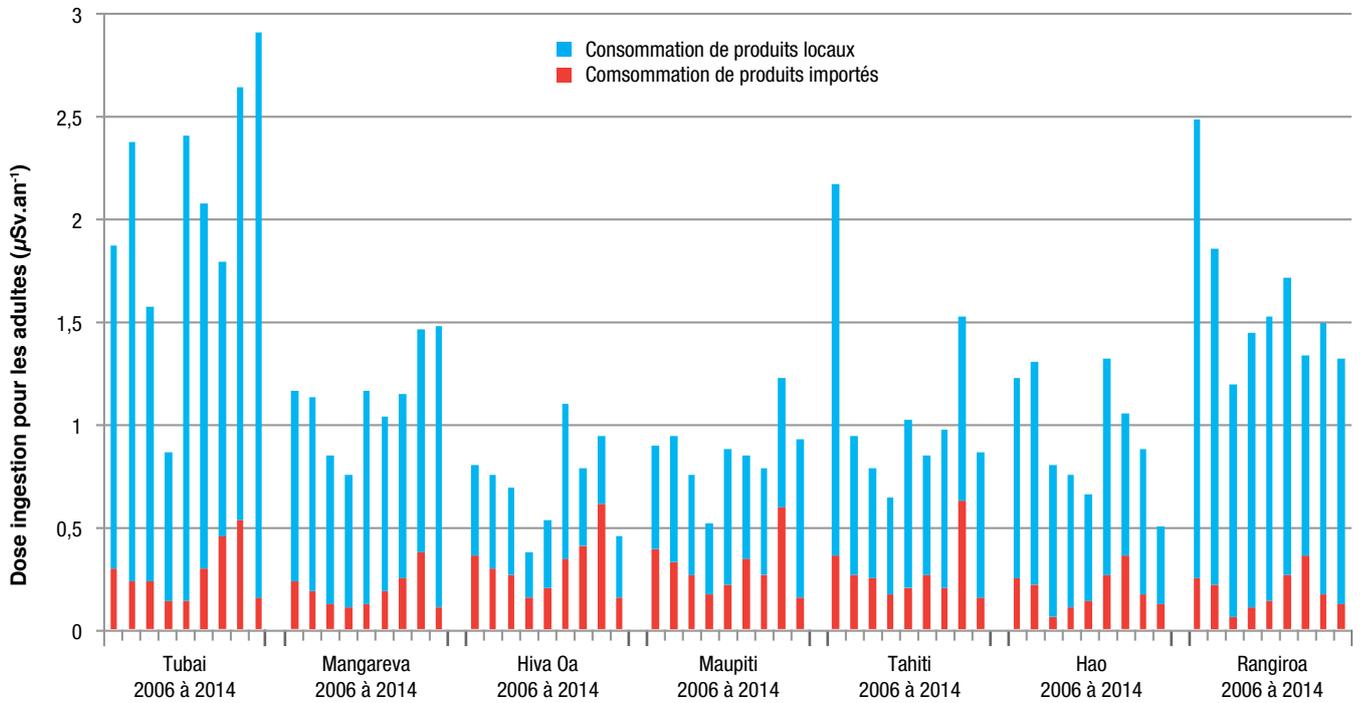


Figure 29 - Doses ingestion ajoutées de 2006 à 2014 pour les adultes suite à la consommation de produits locaux et importés dans les différentes îles.

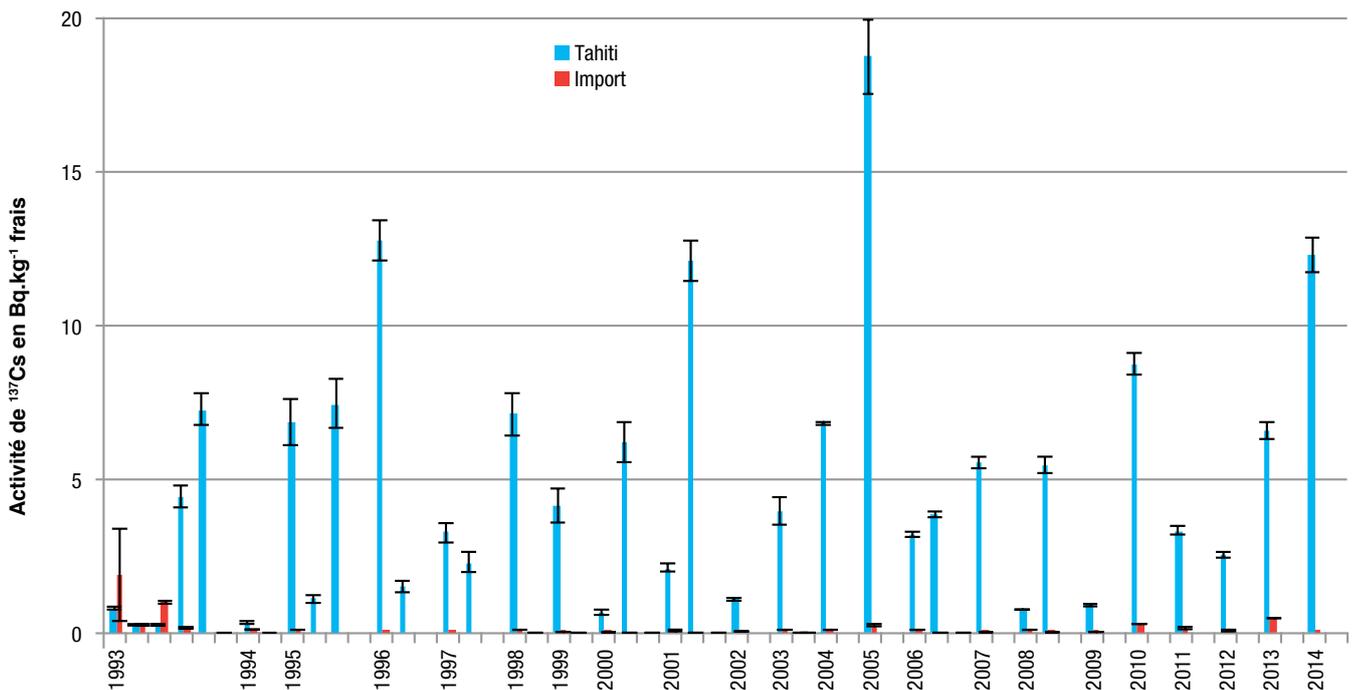


Figure 30 - Activités de ^{137}Cs en Bq/kg frais dans la viande de bœuf provenant de Tahiti et dans celle importée de Nouvelle-Zélande (2 échantillons ou plus ont été analysés certaines années).

Enfin, les différences de contribution à la dose des denrées d'origine locale ou importée ne sont généralement pas simplement dues à des différences de concentration en radioactivité, mais à leur part respective dans la ration alimentaire. Par exemple, la consommation de poisson est jusqu'à 14 fois plus importante dans les atolls que dans les îles hautes. En conséquence, la dose calculée peut être 8 fois plus forte dans ces atolls pour des concentrations mesurées dans les poissons sensiblement identiques.

En 2014, les doses estimées, engendrées par la consommation de denrées produites en Polynésie sont comprises entre 0,47 et 2,92 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$ (Hiva Oa et Tubuai) pour les adultes, entre 0,43 et 1,54 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$ pour les enfants dans les mêmes îles [4]. Plus des 2/3 (2,1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$) de la dose à Tubuai provient de la seule consommation de la viande de bœuf (12,23 kg/an) provenant de Tahiti. La dose efficace unitaire, en $\mu\text{Sv}/\text{kg}$ (ou en $\mu\text{Sv}/\text{L}$), la plus élevée concerne donc cette viande de bœuf avec une valeur de 0,17 $\mu\text{Sv}/\text{kg}$. Il faudrait cependant consommer 5 880 kg par an (16 kg/jour) de cette viande pour atteindre la limite de dose pour le public de 1 mSv/an.

Comme les années précédentes, ce sont les mêmes denrées qui contribuent principalement à la dose des adultes :

- la viande de bœuf de Tahiti (0,15 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$), consommée aussi, mais en plus grandes quantités, à Maupiti (0,47 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$), à Mangareva (0,87 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$) et à Tubuai (2,11 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$) ;
- le coprah de Rangiroa (0,47 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$) et de Tubuai (0,22 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$) ;

- les poissons de lagon de Hao (0,17 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$) et de Rangiroa (0,21 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$) parce qu'avec 144 kg par an (85,5 kg pour les enfants), ce produit est consommé 6 à 14 fois plus dans les atolls que dans les autres îles ;
- l'eau de coco de Rangiroa (0,30 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$) consommée en quantité (52,6 L/an) (fig. 31).



Figure 31 - Séchage du coprah

Aucune autre denrée que cette viande de bœuf locale ne contribue à une dose ajoutée d'origine artificielle pour plus de 1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$. Ces valeurs sont à mettre en perspective avec les valeurs de dose 1 000 fois plus importantes, correspondant à la radioactivité d'origine naturelle présentée au chapitre 5.2. Celle-ci est de l'ordre de 1 000 à 2 000 $\mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$ si l'on tient compte de l'ensemble des sources (radon, rayonnements telluriques et cosmiques, radionucléides naturels tels le ^{40}K ...).

En 2014, l'IRSN a poursuivi la surveillance radiologique de la Polynésie française, à l'exclusion des sites de Moruroa et Fangataufa. Pour la première fois, dans le cadre de la mission « Turbo » organisée annuellement par la Direction Générale de l'Armement et le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies renouvelables, l'IRSN a étendu cette surveillance concernant 7 îles réparties dans les 5 archipels au domaine océanique du flanc d'atoll de Moruroa en analysant 2 échantillons de poissons et 1 échantillon d'eau de mer.

Les mesures de la radioactivité mises en œuvre (spectrométries γ pour les ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co et ^{241}Am et spectrométries α pour les isotopes du Pu), couvrent la quasi-totalité de la gamme des radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être décelés dans l'environnement étudié. Cinquante-trois prélèvements ont été effectués pour le domaine physique (air, eaux, sédiments et sols) et 141 pour le domaine biologique (poissons de haute mer, poissons et autres produits de lagon, légumes, fruits, viandes, lait et boissons diverses). Les analyses faites sur ces prélèvements ont permis de répondre à deux objectifs :

- connaître les niveaux de radioactivité d'origine artificielle dans tous les milieux de l'environnement et pour les principales denrées alimentaires ;
- évaluer l'incidence dosimétrique ajoutée de cette situation environnementale : pour la dose due à l'ingestion, tous les prélèvements entrant dans la ration alimentaire des Polynésiens sont pris en compte. Pour l'exposition externe et l'inhalation, l'estimation de la dose est fondée sur les mesures du domaine physique.

Les niveaux de radioactivité mesurés en 2014 ne sont pas significativement différents de ceux obtenus ces dernières années. Les différences observées sont à mettre en relation avec une variabilité naturelle importante dans l'échantillonnage comme nous l'avons noté fréquemment dans le cas de la viande de bœuf ou dans le cas de la viande d'agneau importée de Nouvelle-Zélande en 2013.

■ 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 2014 n'excèdent pas $0,32 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais pour les poissons (haute mer et lagon), et sont 10 fois plus faibles pour les autres produits lagonaires.

– 2 résultats sur 141 analyses réalisées en 2014⁹ sont supérieurs à 1 Bq.kg^{-1} frais en ^{137}Cs : 12,3 et $1,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais respectivement pour la viande de bœuf de Tahiti et pour le coprah de Tubuai.

- Les résultats obtenus dans les sols sont inférieurs à $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ sec sur l'atoll de Hao alors que des valeurs comprises entre 1 et 10 Bq.kg^{-1} sec sont observées dans les îles hautes de Moorea et de Tahiti ainsi que dans 4 îles des Gambier.
- Dans les eaux douces (source, rivière, boisson et pluie), le ^{137}Cs a été décelé, comme les années précédentes, à une valeur extrêmement faible dans une eau de rivière ($0,21 \text{ mBq.L}^{-1}$) et dans une eau de ville distribuée dans une commune à Tahiti ($0,13 \text{ mBq.L}^{-1}$).
- Dans l'eau de mer, les valeurs obtenues en 2014 et 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 ($< 0,1 \mu\text{Bq.m}^{-3}$) dans la continuité des valeurs des années précédentes.

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

- Les isotopes du Pu ont été mesurés à très faibles concentrations dans les 5 prélèvements de bénitiers, dans le mérou prélevé à Tahiti et dans 2 lots de nacres transplantées à Tahiti. Le coprah provenant de Mangareva, de Hao et de Tahiti présente d'infimes traces de Pu ($^{239+240}\text{Pu}$ et ^{238}Pu).
- Dans les sols, les teneurs en Pu sont inférieures à 1 Bq/kg sec sauf pour une zone spécifique peu étendue à Hao, utilisée entre 1966 et 1974 comme site de décontamination des avions voutour qui traversaient les panaches radioactifs à l'issue des tirs atmosphériques, et sur 1 site à Tahiti et aux Gambier. Sur les 4 îles principales des Gambier, les teneurs relativement homogènes en Pu, comprises entre 0,4 et $1,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ sec, sont plus élevées que celles observées généralement dans les autres îles. Les rapports isotopiques singuliers par rapport à la valeur de 0,13 (rapport des activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$), indiquent des retombées directes spécifiques à l'époque des essais atmosphériques aériens français.

9. 7/163 en 2013, 2/156 en 2012.

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

En ce qui concerne l'exposition des populations à la radioactivité artificielle résiduelle, elle est essentiellement due à l'ingestion et à l'exposition externe, la composante "inhalation" étant négligeable.

Seule la viande de bœuf de Tahiti consommée à Tubuai contribue à la dose par ingestion pour plus de $2,1 \mu\text{Sv} \cdot \text{an}^{-1}$ et quelques aliments, fortement consommés, peuvent contribuer à la dose pour plus de $0,1 \mu\text{Sv} \cdot \text{an}^{-1}$. C'est le cas pour certains produits locaux en 2014 :

- la viande de bœuf de Tahiti consommée à Mangareva, à Maupiti et à Tubuai ;
- le coprah de Tubuai et de Rangiroa, ainsi que l'eau de coco de Rangiroa ;
- les poissons de lagon de Hao et de Rangiroa. En particulier, pour ces deux atolls, la ration alimentaire est principalement axée (plus de la moitié de la ration annuelle hors boisson) sur cette denrée.

Les doses totales annuelles (Annexe IV [4]), sommes des doses d'exposition externe, d'inhalation et d'ingestion, durant les vingt dernières années pour l'ensemble des cinq archipels sont globalement comparables. On peut retenir une moyenne globale sur cette période voisine de $3,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{an}^{-1}$ pour les enfants et de $4,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{an}^{-1}$ pour les adultes.

Cet ordre de grandeur, relatif à l'ensemble des trois composantes de la dose « ajoutée », peut être comparé à la valeur de la dose totale (d'origine naturelle et artificielle) de $1\ 000 \mu\text{Sv}$ par an en moyenne dans le Pacifique sud retenue par la SPREP (South Pacific Regional Environment Program) en 1983 [16]. Les mesures d'exposition que nous avons réalisées sur une partie des îles des 5 archipels entre 2010 et 2014 confirment cette valeur moyenne maximum en Polynésie française.

La dose « ajoutée » associée aux radionucléides d'origine artificielle en Polynésie française représente donc moins de 0,5 % de cette dose moyenne totale régionale.

Face à ces constats, le suivi évolue et se diversifie (constats radiologiques, réseau nacres) 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 de plus en plus soucieuse de la qualité de son environnement.

Cette préoccupation de la population s'est 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 mobilisés 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 étaient consultables immédiatement sur le site www.irsn.fr. Des plans de prélèvement spécifiques concernant le milieu atmosphérique (air, pluie) et terrestre (herbe, lait de vache) ont été mis en place pendant plusieurs semaines après l'arrêt des rejets radioactifs atmosphériques. De 2012 à 2014, cette surveillance dans le Pacifique sud est restée renforcée dans le domaine marin pour observer un éventuel impact lié aux rejets radioactifs toujours importants en mer depuis la catastrophe de Fukushima.

■ La fréquence des analyses de l'eau de mer, annuelle auparavant, a été augmentée depuis 2011. Les concentrations en ^{134}Cs obtenues ces trois dernières années (inférieures à la LD) confirment que la concentration de ^{137}Cs observée ($1 \text{ mBq} \cdot \text{L}^{-1}$) est toujours issue des résidus des retombées des essais nucléaires atmosphériques anciens et que la contamination du domaine marin japonais n'a pas eu d'impact dans les eaux polynésiennes. La teneur en ^{137}Cs dans l'eau prélevée au large de Moruroa est similaire à celle obtenue dans l'eau du lagon à Tahiti, confirmant ainsi l'homogénéité des concentrations dans les eaux de surface océanique sans influence de la proximité d'un des anciens sites nucléaires expérimentaux.

■ Quarante-deux prélèvements de poissons pélagiques (thons, dorade coryphène, thazard...) ont été réalisés au voisinage des 5 archipels en 2014, dont 2 à proximité de Moruroa. Le ^{134}Cs n'a jamais été décelé, aucune différenciation entre les sites et aucune augmentation de ^{137}Cs par rapport aux années passées n'ont été observées.

D'autres prélèvements de poissons pélagiques seront réalisés en 2015 afin de poursuivre notre action de surveillance de l'impact de Fukushima dans les zones de pêches polynésiennes.

- [1] Bernagout S., Garen P. et Bouisset P., *Mise au point d'un réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les eaux lagunaires de Polynésie française par l'utilisation de mollusques sentinelles*. Rapport Ifremer CP/URMPF/12.003 (2012) 63p.
- [2] Bouisset P., Bernagout S., Garen P., *Réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie française*. Rapport d'étape septembre 2013 - contrat de projet État-Pays 2012-2014. Rapport PRP-ENV/SESURE 2013-36 (2013) 18p.
- [3] Bernagout S., Liao V., Bouisset P. *Réseau de Surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie française- Rapport final - Septembre 2014 - Contrat de projet État-Pays*. Rapport PRP-ENV/SESURE 2014-35 (2014) 69p.
- [4] Nohl M., Bouisset P. *Surveillance de la radioactivité en Polynésie française - Annexes au bilan 2014*. Rapport PRP-ENV/SESURE 2015-24 (2015) 44p.
- [5] Bouisset P., Bernagout S., *Évolution de la stratégie de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française*. Rapport DEI/SESURE 2010-28 (2010) 36p.
- [6] DSND (2006) *Les essais nucléaires français dans le pacifique - Les 41 essais nucléaires aériens*.
- [7] Collectif 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.
- [8] 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.
- [9] D.J. Madigan, Z. Baumann, N.S. Fisher. *Pacific bluefin tuna transport Fukushima-derived radionuclides from Japan to California*. PNAS Early Edition (April 2012) 4P.
- [10] Ministry of Health N-Z. *Environmental radioactivity report 2012/13* (2014) 2p.
- [11] Robison W.L., Conrado C.L., Hamilton T.F and Stoker A.C. *The effect of carbonate soil on transport and dose estimates for long-lived radionuclides at a U.S. Pacific test site*. J. Radionanalytical & Nuclear Chemistry 243 (2000) 215-422
- [12] CIPR Publication 71. *International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Part 4 Inhalation Dose Coefficients*. ICRP publication 71 (1995) Oxford : Pergamon press.
- [13] CIPR Publication 67. *International Commission on Radiological Protection. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Part 2 Ingestion Dose Coefficients*. ICRP publication 67 (1993) Oxford : Pergamon press.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] South Pacific Regional Environment Program. *Topic review radioactivity in the South Pacific*. SPREP/Topic review 14 (octobre 1983).
- [17] Bouisset P. et Bernagout S., *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2013. Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN*. Rapport PRP-ENV/SESURE 2014-19 (2014) 34p.

Conception et réalisation : www.kazoar.fr

Crédits 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

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

Site Internet

www.irsn.fr

**Pôle radioprotection,
environnement, déchets et crise
PRP-ENV**

31, rue de l'Écluse
B.P. 40035
78116 Le Vésinet Cedex

Téléphone

+33 (0)1 30 15 52 00