

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE*Faire avancer la sûreté nucléaire*

Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2012

Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN



Ont contribué à l'élaboration de ce rapport :

Nom	Unité
P. BOUISSET	Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement
S. BERNAGOUT	
G. LECLERC	
J. RUA	
P. DELABBAYE	
A. DE VISMES	Service de traitement des échantillons et de mesure pour l'environnement

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

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-CLES : POLYNESIE FRANÇAISE, ENVIRONNEMENT, LAGON, RADIOACTIVITE, DOSE EFFICACE, CESIUM 137, PLUTONIUM.

RESUME

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, aliments...) avec lesquels la population peut être en contact.

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 lagonaire et du milieu terrestre.

La quasi-totalité des échantillons prélevés sont mesurés au Laboratoire d'Etude 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 2012 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 résiduelle d'origine artificielle est inférieure à $5 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$ (5 microsievarts par an), soit moins de 0,5 % de la dose associée à l'irradiation naturelle en Polynésie (environ $1\ 000 \mu\text{Sv}\cdot\text{an}^{-1}$).

La surveillance radiologique de l'environnement renforcée mise en place à la suite de la catastrophe de Fukushima, s'est poursuivie en 2012 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 (thons, espadon, dorade coryphène, thazard...) ont été réalisés au voisinage des 5 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.

ABSTRACT

Exercised in Polynesia since 1962, the radiological monitoring of the French environment, which takes place on seven islands (Tahiti, Maupiti, Hao, Rangiroa, Hiva Oa, Mangareva and Tubuai) representing the five archipelagos, and consists of taking regular samples of various kinds from the different environmental compartments (air, water, soil, food...) with which the population may be in contact.

Regarding food, the samples analyzed 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 the samples are measured at the Laboratory for the Study and Monitoring of the Environment (LESE) IRSN, based in Vairao on the island of Tahiti.

During the year 2012, were stable and typical of the regular reduction of the levels of radioactivity since the stop, in 1974, of the French atmospheric tests. 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 microsievarts per year). This value corresponds to less than 0,5 % of exposure due to natural radioactivity in Polynesia (approximately $1\ 000 \mu\text{Sv}\cdot\text{y}^{-1}$).

Enhanced radiological monitoring of the environment set up in the wake of the Fukushima disaster, continued in 2012 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.

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION	5
1.1 RAPPEL DES MISSIONS DE L'IRSN	5
1.2 LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT EN FRANCE	6
1.3 L'ANTENNE POLYNESIENNE DE L'IRSN.....	6
1.4 PRESENTATION DU RAPPORT ANNUEL 2012	7
2 DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA POLYNESIE FRANCAISE ET DU MODE DE VIE DE SES HABITANTS	8
3 LOCALISATIONS ET PRELEVEMENTS SELECTIONNES	10
3.1 LOCALISATIONS SELECTIONNEES	10
3.2 PRELEVEMENTS SELECTIONNES	10
3.2.1 Prélèvements du domaine physique.....	11
3.2.2 Prélèvements du domaine biologique.....	11
4 NIVEAUX DE RADIOACTIVITE ET EVOLUTION	12
4.1 MILIEU PHYSIQUE	12
4.1.1 Radioactivité de l'air	12
4.1.2 Radioactivité de l'eau	15
4.1.3 Radioactivité des sédiments.....	17
4.2 MILIEU BIOLOGIQUE	18
4.2.1 Milieu marin	18
4.2.2 Milieu terrestre	20
5 EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNESIE FRANCAISE	23
5.1 GENERALITES	23
5.2 LES DOSES REÇUES PAR LES POPULATIONS DU FAIT DE LA RADIOACTIVITE D'ORIGINE ARTIFICIELLE	24
5.2.1 Dose efficace annuelle d'origine artificielle liée à l'exposition externe	24
5.2.2 Dose efficace annuelle d'origine artificielle liée à l'inhalation	25
5.2.3 Dose efficace annuelle d'origine artificielle liée à l'ingestion.....	25
6 CONCLUSION	27

1 INTRODUCTION

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.

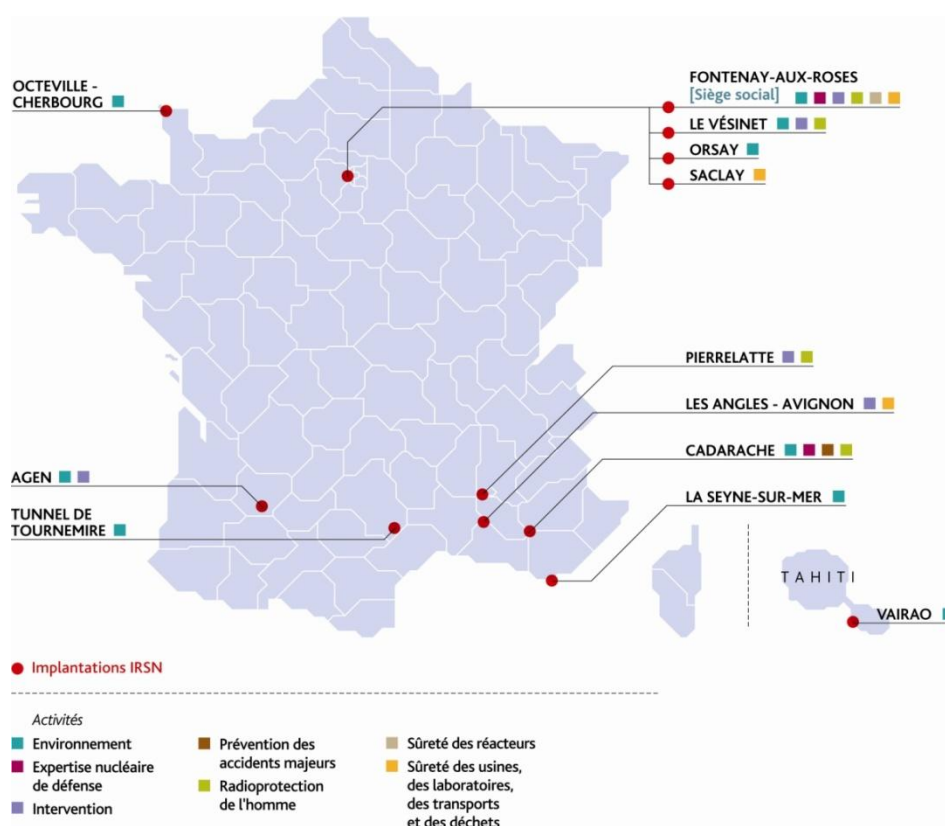


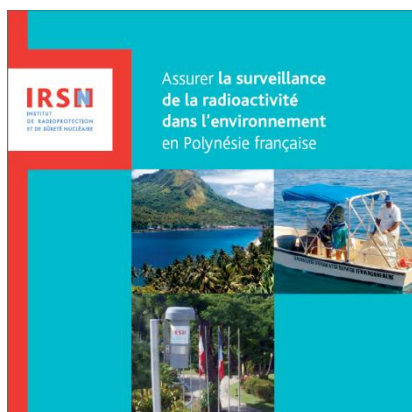
Figure 1 : Implantation des sites de l'IRSN

1.2 LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT EN FRANCE

En France, 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 POLYNÉSIEENNE DE L'IRSN

Le LESE (antenne polynésienne de l'IRSN) est implanté à Vairao depuis l'été 2009, après avoir été basé durant 44 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.



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 (Etats-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 et consiste à prélever régulièrement 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

Cependant, 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 LESE 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'Etat à l'Outre-Mer (SEOM) de 2009 à 2011 [1] puis par le Contrat de projet Etat-Pays de 2012 à 2014 [2], a pour objectif de suivre la contamination d'un indicateur biologique (l'huitre *Pinctada margaritifera* dit la nacre) en métaux, radionucléides, hydrocarbures et composés organochlorés.

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 Centre d'Essais du Pacifique (CEP, 1964). Le laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement (LESE) de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), implanté à Tahiti 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'inscrivait 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 nécessitent des mesures de contrôle.

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. Ainsi, en 2012, les prélèvements de poissons pélagiques ont été intensifiés sur l'ensemble de la ZEE (Zone Economique Exclusive) de la Polynésie française.

1.4 PRESENTATION DU RAPPORT ANNUEL 2012

Dans le rapport de l'année 2012, le chapitre 2 propose une description sommaire de la Polynésie, en termes de géographie, de climat et d'habitat, ainsi qu'une présentation des caractéristiques principales des régimes alimentaires des trois principales zones : Tahiti, les autres îles hautes et les îles basses ou atolls.

Le chapitre 3 présente les sept zones de prélèvements (deux îles par archipel pour la Société et les Tuamotu, une île pour l'archipel des Gambier, une île pour les Australes et une île pour les Marquises).

Les trois grands types de prélèvements sont aussi présentés : 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 sont fournis dans le chapitre 4. Les résultats de 2012 dans le milieu marin océanique montrent l'absence de traces de radioactivité imputable à l'accident nucléaire de Fukushima dans les eaux territoriales de Polynésie.

Le chapitre 5 traite de la signification dosimétrique de ces niveaux de radioactivité.

Le chapitre 6 résume les principaux résultats de l'année 2012.

Un document annexe à ce rapport (rapport PRP-ENV/SESURE 2013-35 [3], consultable sur le site Internet de l'IRSN présente les résultats de l'année 2012 :

- niveaux d'activité du domaine physique ;
- niveaux d'activité du domaine biologique ;
- résultats des calculs dosimétriques.

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

2 DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA POLYNESIE FRANCAISE ET DU MODE DE VIE DE SES HABITANTS

La Polynésie française est constituée de 118 îles, dont 76 sont habitées, regroupées en cinq archipels : Société, Tuamotu, Gambier, Australes et Marquises. Elle représente dans le Pacifique Sud une surface de cinq millions de kilomètres carrés d'océan (figure 2), pour une superficie totale des terres émergées d'environ 3 500 km². La population totale est faible, moins de 260 000 habitants (recensement d'août 2007). L'essentiel de la population 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.

Etant 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.

- **Tahiti et Maupiti**, îles hautes de la Société ;
- **Mangareva**, île haute des Gambier ;
- **Tubuaiti**, île haute des Australes ;
- **Hiva Oa**, île haute des Marquises.

Les îles hautes (Hiva Oa sur la photo ci-contre), pouvant culminer jusqu'à plus de 2 000 m, avec des vallées étroites et encaissées ; l'habitat y est situé pour l'essentiel au niveau de la ceinture littorale. Les cultures maraîchères et fruitières, de même que l'élevage, y sont pratiqués.



A **Tahiti**, le régime alimentaire est varié et les productions en provenance de toute la Polynésie peuvent y être trouvées en abondance. Papeete et ses faubourgs disposent de deux marchés approvisionnant à eux seuls environ 40 000 personnes en produits locaux provenant de Tahiti mais aussi d'autres îles (poissons, mollusques, crustacés, légumes, fruits, viande de porc). On y trouve également de nombreux magasins d'alimentation bien approvisionnés en denrées locales et importées.

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.

- **Hao et Rangiroa** (photo ci-contre : passe de Avatoru à Rangiroa), atolls habités 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 est essentiellement constitué des produits de la pêche locale, de noix de coco et de quelques élevages familiaux : poulets, porcs... Les denrées importées sont moins nombreuses et arrivent plus irrégulièrement.



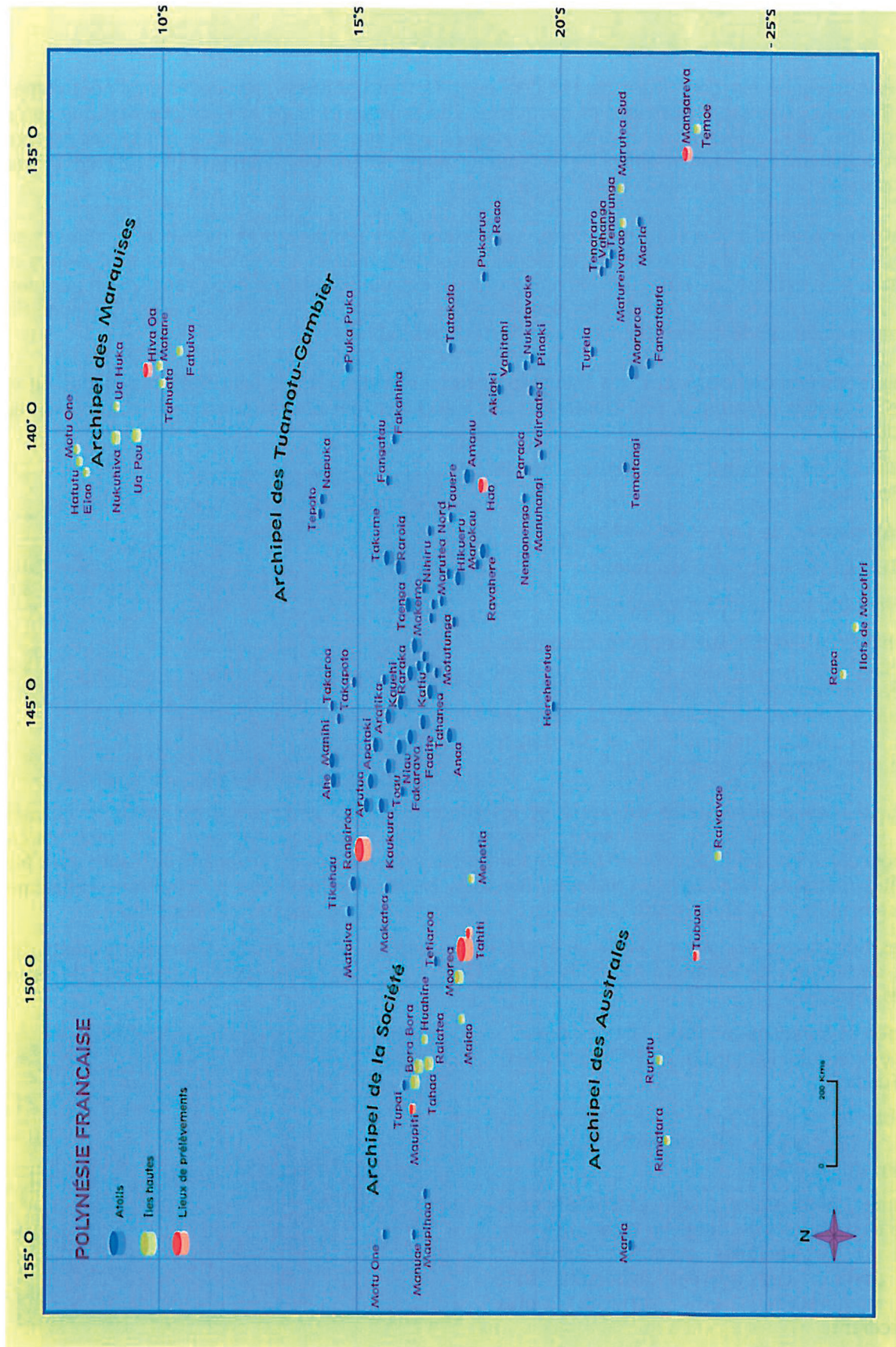


Figure 2 : Carte des archipels de la Polynésie française et des lieux de prélèvements

3 LOCALISATIONS ET PRELEVEMENTS SELECTIONNES

3.1 LOCALISATIONS SELECTIONNEES

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 (figure 2) ;
- 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 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 dans la Société car c'est l'île la plus à l'ouest et Hao est retenue dans les Tuamotu en plus de Rangiroa compte-tenu de l'étendue de cet archipel et pour sa plus grande proximité des sites d'essais.

3.2 PRELEVEMENTS SELECTIONNES

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.

En 2012, le nombre total de prélèvements est de 213 : 57 pour le domaine physique et 156 pour le domaine biologique.

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.

Nous avons ainsi réduit par rapport aux années précédentes les prélèvements de poissons lagunaires au profit d'analyses sur des nacres *Pinctada margaritifera*. Ces analyses entrent dans le cadre de la mise en œuvre d'un réseau de suivi des polluants, radioactifs, métaux lourds, hydrocarbures et composés organochlorés [1]. Ce réseau est mis en œuvre en collaboration avec les équipes d'Ifremer et du Criobe (CNRS).

En 2012, 3 stations implantées sur les sites de Vairao et de port Phaëton à Tahiti ainsi que dans la baie de Vaiare de Moorea, ont donné lieu à 7 analyses de spectrométrie gamma complétées par des analyses de polluants chimiques [2].

3.2.1 PRELEVEMENTS DU DOMAINE PHYSIQUE



Il s'agit de prélèvements d'air par filtration, d'eau de mer, de pluie, de rivière (photo ci-contre) et de source prélevées à Tahiti ainsi que des sédiments prélevés sur les différentes îles.

Les analyses de l'eau de pluie, réalisées mensuellement jusqu'en 2009, sont faites semestriellement depuis 2010 tout en conservant la continuité du prélèvement mais en réduisant la surface de collecte.

3.2.2 PRELEVEMENTS DU DOMAINE BIOLOGIQUE

Le nombre de prélèvements biologiques par île est de : 36 pour Tahiti, 19 pour Maupiti, 15 pour Tubuai, 9 pour Rangiroa, 26 pour Hiva Oa, 21 pour Mangareva et 13 pour Hao. En complément, 10 prélèvements de produits importés consommés dans tous les archipels ont été réalisés ainsi que 7 prélèvements de nacres placées en filières (Takaroa, Tahiti, Moorea).

Sur les 156 prélèvements effectués en 2012, 62 concernent le domaine marin, répartis en 3 catégories, les poissons de haute mer, les poissons de lagon, les autres prélèvements marins (crustacés...), et 94 concernent le domaine terrestre.

- Prélèvements de poissons de haute mer

Il s'agit de 41 prélèvements de poissons pélagiques (espadon, bonite, thazard, mahi mahi (dorade coryphène) et différentes espèces de thons).

- Prélèvements de poissons de lagon

Ce sont 7 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 bioindicateurs de la concentration du ^{137}Cs dans les lagons [4].

- Autres prélèvements marins

Il y a 14 prélèvements de mollusques et autres : 6 bécotiers, 1 langouste et 7 nacres.

- Prélèvements du domaine terrestre

Les 94 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), 31 légumes (9 légumes-feuilles, 9 légumes-fruit et 13 légumes-racines), 32 fruits, 4 viandes et 2 œufs, et 10 prélèvements complémentaires relatifs à des produits d'importation (1 bière, 1 lait, 3 viandes et 5 autres produits divers : pâtes, pain, riz, pomme de terre, nouilles japonaises).

4 NIVEAUX DE RADIOACTIVITE ET EVOLUTION

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

Pour la réalisation de ces mesures, le LESE dispose de divers équipements pour la mesure directe par spectrométrie gamma ou après radiochimie sélective pour les analyses alpha (α) de Pu et bêta (β) de ^{90}Sr .



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



Comptage proportionnel à gaz (^{90}Sr)

4.1 MILIEU PHYSIQUE

4.1.1 RADIOACTIVITE DE L'AIR

Les prélèvements d'aérosols sont réalisés en continu sur filtre avec une station à grand débit d'aspiration (environ $300 \text{ m}^3/\text{h}$).

Le tableau 1 ci-après présente les activités moyennes annuelles obtenues ces 3 dernières années pour les ^{137}Cs , ^7Be , ^{22}Na , ^{40}K et ^{210}Pb . Les incertitudes indiquées sont relatives à la mesure et non pas à une variabilité naturelle. Ces résultats sont comparés à ceux obtenus à Orsay en région parisienne.

Depuis 2011, la mesure des aérosols à Tahiti est réalisée sur la première décade de chaque mois, les deux autres décades prélevées étant archivées.



Les activités moyennes mensuelles, 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 consultable sur le site Internet de l'Institut (rapport PRP-ENV/SESURE 2013-35).

Tableau 1 : Activités moyennes annuelles ($\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) de 2010 à 2012 pour les 5 radionucléides détectés dans les aérosols prélevés en continu à Tahiti et à Orsay. Ces activités sont calculées à partir des activités moyennes mensuelles pondérées des volumes d'air prélevés.

Radionucléides	Tahiti (Vairao)			Métropole (Orsay 91)		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012
Artificiels						
^{137}Cs	$0,08 \pm 0,04$	$0,10 \pm 0,06$	$0,06 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,06$	$3,9 \pm 1,6$	$0,12 \pm 0,08$
Naturels						
^7Be	2990 ± 930	3260 ± 950	2860 ± 860	3550 ± 990	3900 ± 760	3000 ± 860
^{22}Na	$0,26 \pm 0,11$	$0,29 \pm 0,12$	$0,26 \pm 0,12$	$0,44 \pm 0,17$	$0,33 \pm 0,14$	$0,38 \pm 0,15$
^{40}K	$8,0 \pm 2,6$	$8,3 \pm 2,7$	$6,4 \pm 2,3$	$5,4 \pm 2,1$	$7,0 \pm 3,2$	$5,2 \pm 1,9$
^{210}Pb	78 ± 25	86 ± 26	82 ± 26	350 ± 100	550 ± 120	320 ± 100

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 à $0,08 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, la valeur moyenne annuelle est comparable à celle des années précédentes (tableau 1).

L'évolution de l'activité volumique du ^{137}Cs dans l'air à Tahiti et à Orsay montre une diminution comparable, d'environ 4 ordres de grandeurs, entre 1970 et 2012 (figures 3 et 4 ci-après).

En métropole, on note en 2011 une nette augmentation de la concentration du ^{137}Cs atmosphérique consécutif à l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima [5] qui a eu un impact sur l'ensemble de l'hémisphère nord, sans impact décelable dans l'hémisphère sud. On retrouve en 2012 des niveaux de concentration comparables à ceux des années précédant l'accident. La valeur moyenne annuelle à Orsay est environ 2 fois plus élevée que celle de Tahiti.

Les 4 radionucléides d'origine naturelle proviennent des hautes couches (^7Be , ^{22}Na) et des basses couches (^{40}K , ^{210}Pb) de l'atmosphère.

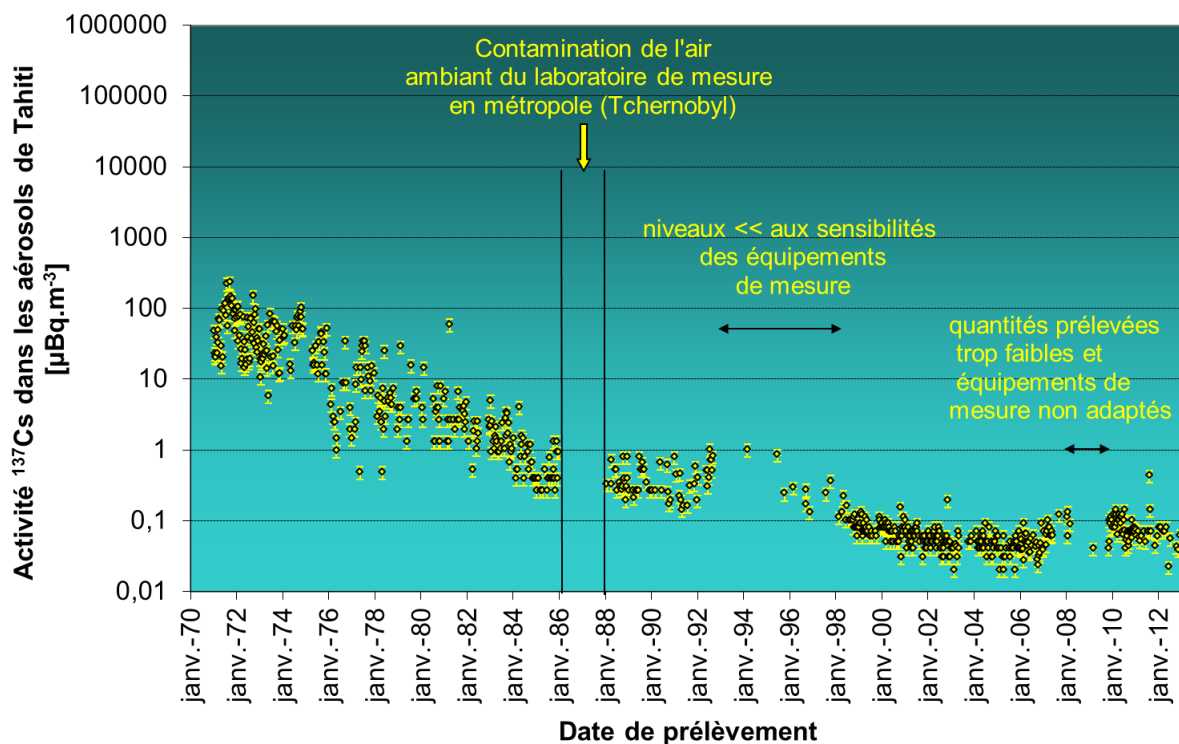


Figure 3 : Activité ($\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) en ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Tahiti de janvier 1971 à décembre 2012

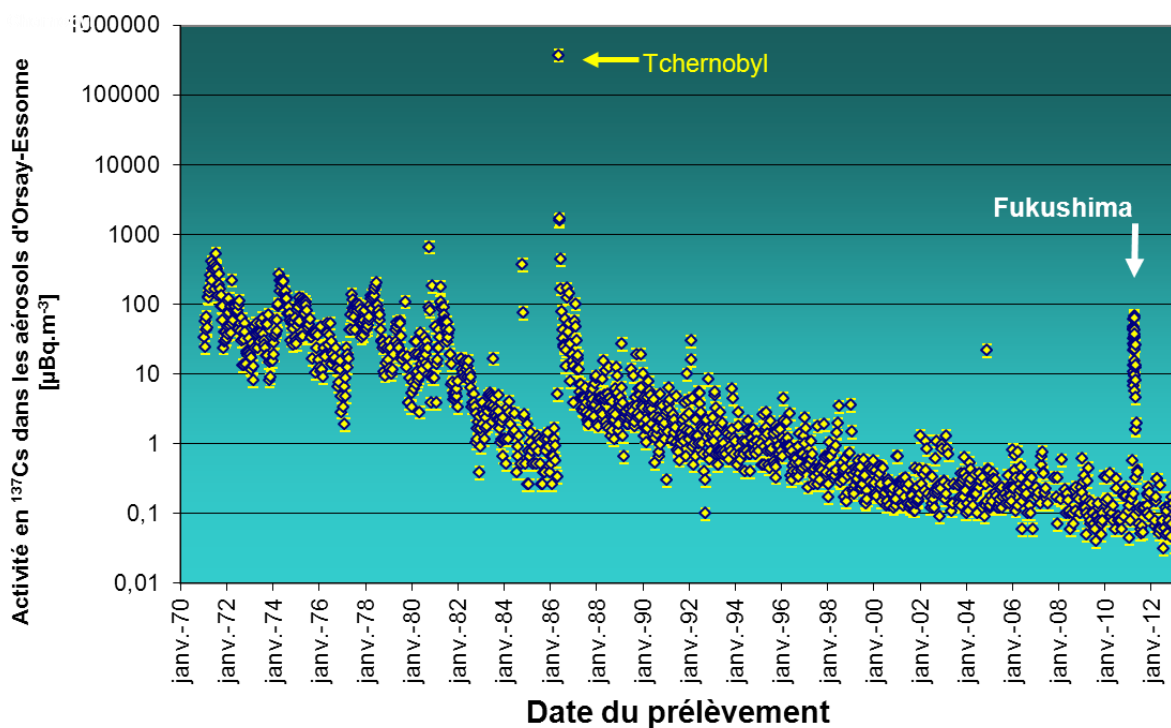


Figure 4 : Activité ($\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) en ^{137}Cs dans les aérosols prélevés à Orsay (Essonne) de janvier 1971 à décembre 2012

4.1.2 RADIOACTIVITE DE L'EAU

4.1.2.1 L'eau de mer

Afin de vérifier l'impact éventuel de l'accident de Fukushima-Dai-ichi dans le milieu marin, la fréquence de prélèvement de l'eau de mer, annuelle auparavant, est passée mensuelle en 2012. Ces prélèvements ont été effectués au sud de Tahiti (à Vairao) dans le lagon à 1,5 m de profondeur. La mesure du césium (134 et 137) qui sont les 2 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 quelques centaines de litres d'eau.

- La détection de l'isotope 134, dont la période radioactive est de 2,1 ans, caractérise l'impact de Fukushima. Cet impact doit aussi être observé par l'augmentation de la concentration en ^{137}Cs .
- L'isotope 137, de période radioactive plus élevée, proche de 30 ans, préexiste dans l'environnement suite aux retombées mondiales des essais nucléaires atmosphériques ($1,3 \cdot 10^{18}$ Bq libérés dans l'environnement entre 1945 et 1980). Il provient aussi des retombées de l'accident de Tchernobyl (moins de 10^{17} Bq localisés en grande partie en Europe) ainsi que des rejets des usines de retraitement du combustible et des centrales électronucléaires ($1,3 \cdot 10^8$ Bq en 1999 pour un réacteur de 1300 MWe, en effluent liquide principalement).

Les limites de détection en ^{134}Cs obtenues tout au long de l'année (tableau 2) confirment que la concentration de ^{137}Cs observée 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 valeur moyenne de $1,06 \pm 0,05$ mBq.L⁻¹ mesurée durant l'année 2012 pour le ^{137}Cs , est conforme à celles obtenues généralement dans cette zone de l'océan Pacifique et à celles obtenues depuis 2009 à Vairao et les années précédentes au nord de Tahiti (pointe Vénus - Mahina).

Tableau 2 : Activités de ^{134}Cs et ^{137}Cs dans les prélèvements d'eau de mer réalisés à Vairao (Tahiti) en 2012

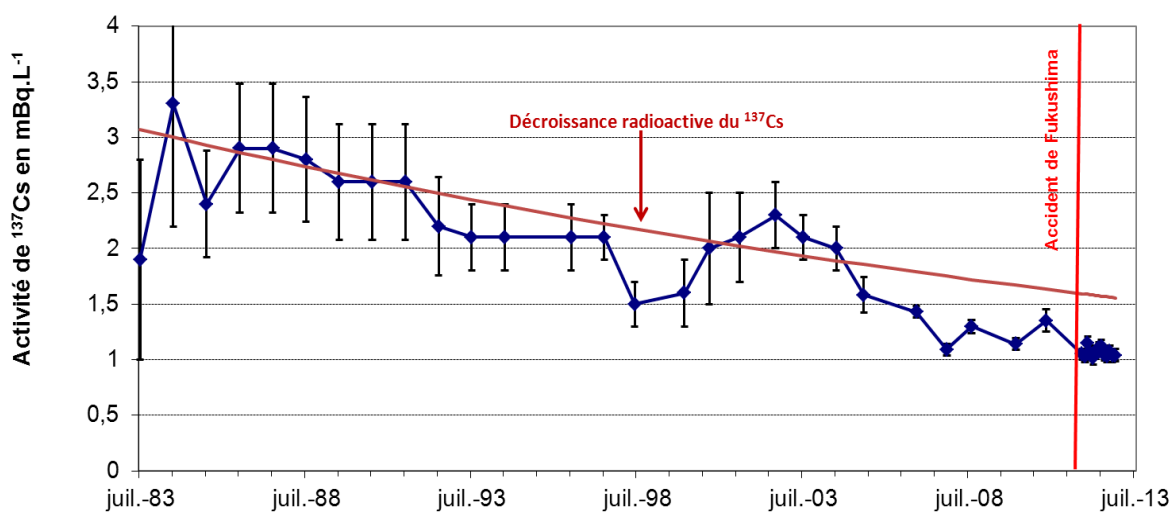
Prélèvement		Activité en mBq.L ⁻¹	
Date	Quantité (L)	^{137}Cs	^{134}Cs
16/01/12	201	1,03 ± 0,05	≤ 0,04
10/02/12	201	1,15 ± 0,07	≤ 0,05
26/03/12	389	1,06 ± 0,07	≤ 0,04
18/04/12	221	1,02 ± 0,07	≤ 0,09
14/05/12	269	1,06 ± 0,06	≤ 0,04
07/06/12	246	1,10 ± 0,06	≤ 0,06
30/07/12	238	1,12 ± 0,07	≤ 0,06
28/08/12	256	1,04 ± 0,06	≤ 0,04
24/09/12	261	1,03 ± 0,06	≤ 0,04
09/10/12	270	1,08 ± 0,06	≤ 0,04
08/11/12	165	1,03 ± 0,06	≤ 0,10
20/12/12	191	1,04 ± 0,06	≤ 0,05

Evolution de la concentration du ^{137}Cs dans l'eau de mer en Polynésie depuis 1983

L'évolution de la concentration (exprimée en mBq.L^{-1}) du ^{137}Cs dans les eaux de mer de la ZEE (zone Economique Exclusive) de la Polynésie française (océan et lagon) de 1983 à 2012 est représentée sur la courbe ci-dessous.

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. A 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.

La diminution de la concentration du ^{137}Cs 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.



Concentration du ^{137}Cs dans l'eau de mer océanique de 1983 à 2005 et lagonaire depuis 2006.

4.1.2.2 Les eaux douces

Le ^{137}Cs n'a pas été détecté dans les prélèvements d'eau douce (eaux de pluie et de source collectées à Tahiti (tableau AI-3 [3]) ni dans les eaux de boissons collectées à Mangareva (tableau AII-2 [3]), à Maupiti (tableau AII-3 [3]), à Hiva Oa (tableau AII-5 [3]) et à Tahiti (tableau AII-7 [3]). Tous les résultats sont inférieurs aux limites de détection (LD).

L'analyse de l'eau de rivière collectée en 2012 sur la presqu'île de Tahiti a permis de détecter la présence de ^{137}Cs à une concentration très faible de $0,15 \pm 0,03 \text{ mBq.L}^{-1}$, identique aux résultats obtenus de 2009 à 2011 au même lieu. Cette valeur, proche des limites de détection, n'est pas significativement différente des résultats des mesures réalisées les années précédentes sur des prélèvements au nord de Tahiti (Papenoo).

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

4.1.3 RADIOACTIVITE DES SEDIMENTS

Les prélèvements de sédiments ne sont pas réalisés systématiquement chaque année. Depuis 2009, une campagne d'échantillonnage de sédiments est menée en différents points des 7 îles constituant le réseau de suivi de la radioactivité ainsi que sur d'autres îles de la Polynésie française (Apataki en 2011, Raivavae et Moorea en 2012).

Les résultats de spectrométrie γ concernent 19 prélèvements de sédiments marins lagunaires de Tahiti et Maupiti (La Société), Tubuai (Australes), Mangareva (Gambier), Hao, Rangiroa et Apataki (Tuamotu), et de sédiments océaniques d'Hiva Oa (Marquises) et de Rangiroa. Pour les radionucléides d'origine artificielle (tableau AI-4 [3] et Bilan de la surveillance 2011 [7] pour les données antérieures), seul le ^{137}Cs a été détecté en 4 lieux pour 8 échantillons: à Tahiti (port de Papeete et Vairao), à Tubuai et aux Gambier à des niveaux d'activité bas ($< 0,25 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). Les 16 autres résultats sont exprimés en limite de détection (points roses de la figure 5).

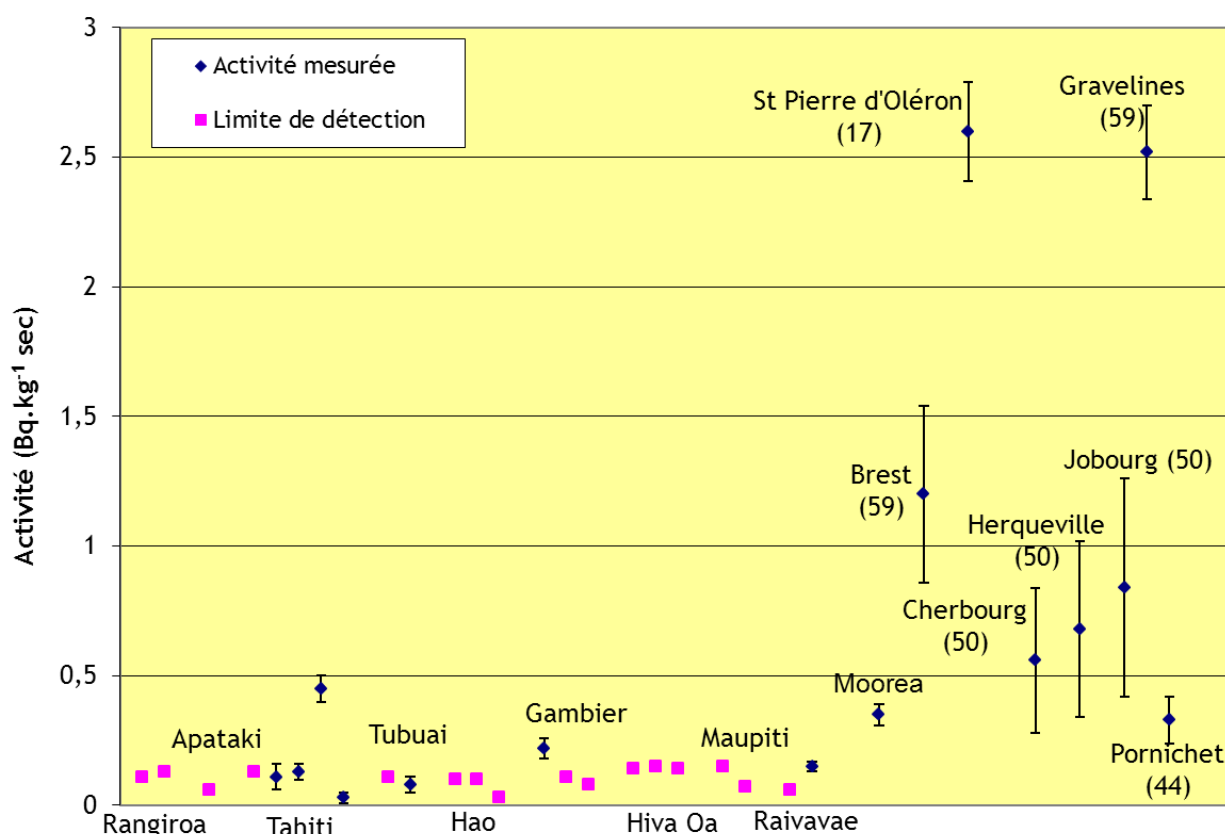


Figure 5 : Activités de ^{137}Cs dans les sédiments marins prélevés entre 2009 et 2012 en Polynésie française (Rangiroa, Apataki, Tahiti, Tubuai, Hao, Gambier, Hiva Oa, Maupiti, Raivavae et Moorea) et en 2009 en métropole (Pornichet, St Pierre d'Oléron, Brest, Jobourg, Herqueville, Cherbourg et Gravelines).

Les valeurs un peu plus élevées à Tahiti et à Moorea (moins de $0,5 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) correspondent à des échantillons de sédiments prélevés en profondeur (plus de 15 m) dans les lagons avec des taux de matières organiques élevés (tableau AI-4 [3]), les autres échantillons provenant de bords de plages avec de faibles teneurs en matières organiques. Des traces d'américium 241 ont aussi été décelées ($0,37 \pm 0,03 \text{ mBq.kg}^{-1} \text{ sec}$) par spectrométrie γ dans cet échantillon de sédiment de Tahiti (Baie de Phaeton).

La comparaison de ces résultats obtenus en Polynésie avec les résultats des sédiments marins prélevés sur les plages de l'Atlantique et de la Manche en métropole durant l'année 2009 [6] est représentée sur la figure 5. Les concentrations en Polynésie sont 10 à 20 fois plus faibles que celles de métropole, cette dernière ayant été soumise à des retombées atmosphériques plus importantes, suite aux essais nucléaires dans l'hémisphère nord et à l'accident de Tchernobyl.

4.2 MILIEU BIOLOGIQUE

Les analyses réalisées sur les échantillons biologiques, essentiellement représentés par des denrées alimentaires, portent sur la partie comestible. Les 156 prélèvements ont été mesurés par spectrométrie γ et 20 d'entre eux sont l'objet d'une radiochimie, suivie d'une spectrométrie α pour doser les isotopes du plutonium. Les analyses en ^{90}Sr ne sont pas encore achevées pour ces échantillons, ces résultats seront inclus dans le rapport 2013. Les résultats obtenus en ^{90}Sr pour les échantillons de coprah et de poisson de lagon prélevés sur les 7 îles en 2011, non inclus dans le rapport 2011, sont indiqués dans le tableau All-8 [3].

Seules quelques traces de ^{137}Cs et de Pu ont été mesurées dans ces échantillons. Le ^{60}Co , qui n'était détecté que sur quelques échantillons de bénéitiers ces dernières années, n'a jamais été décelé dans les échantillons analysés depuis 2011.

4.2.1 MILIEU MARIN

Le ^{137}Cs dans l'eau de mer et l'ensemble des radionucléides dans les poissons de haute mer et de lagon, pêchés et consommés par les Polynésiens, sont mesurés régulièrement.

Suite à l'accident de Fukushima Dai-ichi une surveillance spécifique, axée sur une éventuelle contamination atmosphérique de mars à juillet 2011, a été mise en œuvre par l'IRSN-LESE en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie [5, 7].

Des données récentes sur des pêches réalisées au voisinage des côtes californiennes [8] indiquent que l'impact des rejets de l'accident de Fukushima est observé dans la chair des thons rouges (*thunnus orientalis*) en 2011 avec une valeur moyenne en ^{134}Cs de $4,0 \pm 1,4$ (SD) et $6,3 \pm 1,5$ (SD) Bq.kg⁻¹ sec en ^{137}Cs alors que les mesures en 2008 indiquaient '0' et $1,4 \pm 0,2$ respectivement pour les 2 césiums. Par contre, les analyses sur les thons à nageoires jaunes (*thunnus albacares*) ne montrent aucune contamination en 2011. Le passage de certaines espèces dans les eaux contaminées et leurs migrations rapides sont à l'origine de ces observations.

A partir de septembre 2011, une attention particulière est portée sur les poissons de haute mer pouvant véhiculer une contamination du pacifique nord vers le pacifique sud. La fréquence des prélèvements de poissons est 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.

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

4.2.1.1 Poissons de haute mer

En 2012, 41 prélèvements de poissons pélagiques (espadon, bonite, thazard (photo ci-contre), dorade coryphène (mahi mahi) et différentes espèces de thons) provenant de pêches côtières ont été analysés en spectrométrie γ . Les résultats obtenus sont détaillés par îles dans les tableaux All-1 à All-7 [3].

Les prélèvements de poissons de haute mer sont réalisés par des pêcheurs locaux, collaborateurs habituels du LESE, dans les 5 archipels de la Polynésie française. Ce sont des pêches non industrielles, au voisinage des îles concernées, pour une consommation locale. Par ailleurs, dans le cadre de la campagne océanographique 'Paka ihi i te moana', 6 échantillons ont été prélevés dans les eaux marquisiennes au mois de février 2012.



Le seul radionucléide d'origine artificielle détecté dans les poissons en 2010, avant l'accident de Fukushima, est le ^{137}Cs à très bas niveau, entre $0,34$ et $1,32 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de matière sèche, ce qui correspond pour cette dernière valeur à $0,44 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de matière fraîche, très inférieure aux niveaux maximaux admissibles pour les denrées alimentaires (Cf. paragraphe 4.2.2.3).

Les échantillons prélevés après l'accident de Fukushima, de septembre 2011 à décembre 2012, dans les eaux polynésiennes ne présentent aucune trace de ^{134}Cs . Les limites de détection (LD) sont comprises entre $0,16$ et $0,68 \text{ Bq.kg}^{-1}$ sec. Les activités en ^{137}Cs sont cohérentes avec les résultats obtenus les années antérieures, entre $0,34$ et $0,85 \text{ Bq.kg}^{-1}$ sec et les niveaux résiduels restent assez homogènes, $0,13$ à $0,32 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais, la valeur maximum étant celle d'un mahi mahi provenant de Tubuai. Pour les autres radionucléides d'origine artificielle émetteurs γ comme le ^{60}Co , les résultats sont inférieurs aux limites de détection.

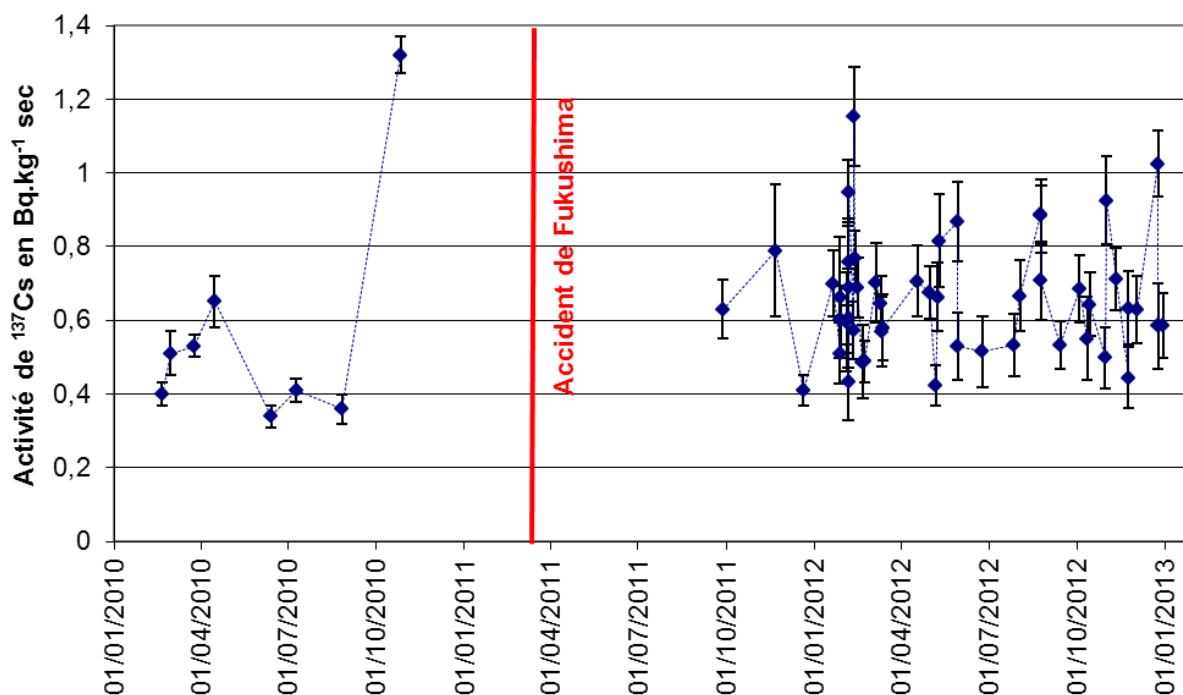


Figure 6 : Concentration en Bq.kg^{-1} de poids sec du ^{137}Cs dans les poissons de haute mer, toutes espèces confondues, prélevés au voisinage des côtes polynésiennes les mois précédant et suivant l'accident de la centrale japonaise de Fukushima Dai-ichi.

4.2.1.2 Poissons et autres produits marins de lagon



21 prélèvements ont été réalisés en 2012, 7 poissons (exclusivement des mérus et loches ; photo ci-contre : loche marbrée) et 14 autres produits (bénitier, langouste et nacre). Tous ont été mesurés par spectrométrie γ .

Les 7 poissons et les 6 bénitiers ont fait l'objet d'une analyse en Pu. Les résultats d'activité sont présentés dans les tableaux All-1 à All-7 [3]. Le tableau All-8 [3] présente les résultats en limite de détection du ^{90}Sr dans 7 mérus/loches prélevés en 2011.

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

- 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. Les valeurs les plus fortes ont été observées dans des mérous à Tubuai ($0,28 \text{ Bq.kg}^{-1}$ 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 2012 comme en 2011, tous les résultats sont inférieurs à la limite de détection de $0,04 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais pour les bénitiers et de $0,13 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais pour les nacres.
- Les isotopes du Pu (^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$) ont été quantifiés dans les 6 bénitiers analysés (figure 7). Ces radionucléides ont quelquefois été décelés à très faible concentration ($0,3 \text{ mBq.kg}^{-1}$ frais en $^{239+240}\text{Pu}$ au maximum à Rangiroa) dans la chair des poissons de lagon analysés en 2012.

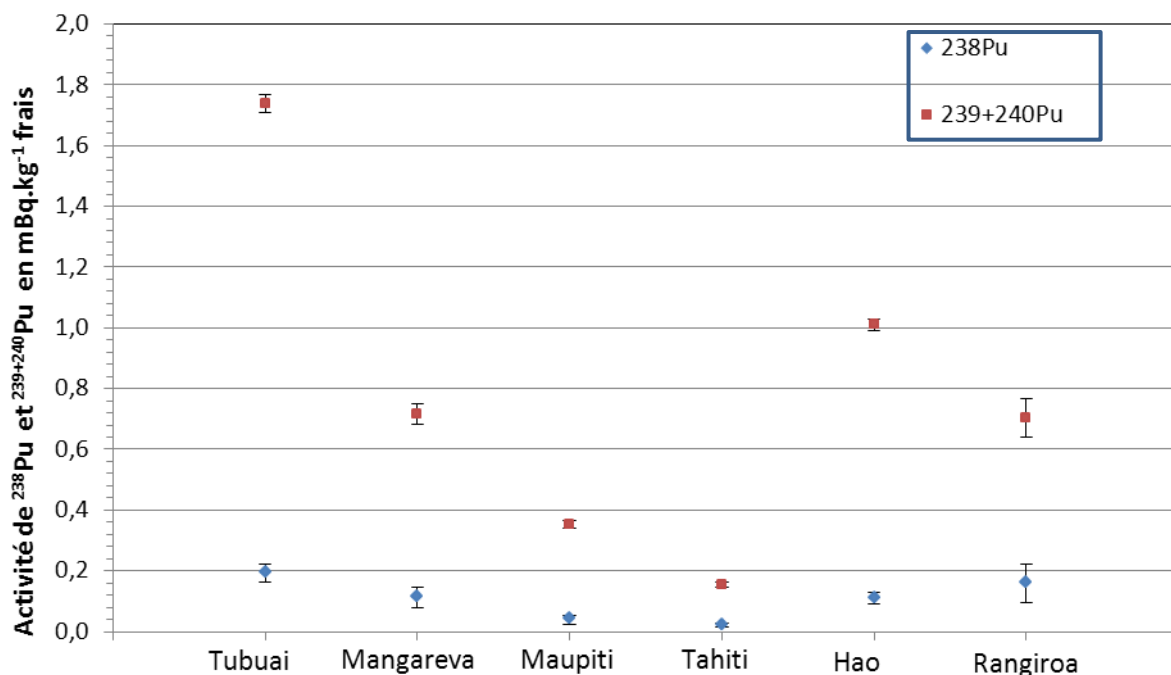


Figure 7 : Concentration en mBq.kg^{-1} frais des isotopes du Pu dans les bénitiers analysés en 2012

4.2.2 MILIEU TERRESTRE

4.2.2.1 Lait de vache

A 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 2012, 2 prélèvements ont été réalisés. Les teneurs en ^{137}Cs sont restées cohérentes avec les teneurs mesurées antérieurement à l'accident, aucune trace de ^{134}Cs , de ^{60}Co et de ^{131}I n'a été décelée dans ces échantillons. Ces activités en ^{137}Cs sont comparables aux valeurs observées en Nouvelle-Zélande en 2011 [9].

Comme les années précédentes, la concentration en ^{137}Cs dans le lait entier local en 2012, est légèrement supérieure à celles du lait UHT importé (limite de détection à $0,04 \text{ Bq.L}^{-1}$ en 2012 pour un échantillon provenant de France métropolitaine).

Depuis les années 1990, on observe (figure 8) une décroissance de la radioactivité dans le lait très lente (pente bleue), bien plus lente que celle observée après les essais nucléaires atmosphériques dans les années 70 (pente rose). La décroissance rapide 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 ; l'eau d'abreuvement constituant une autre voie de contamination du lait. Ainsi, la pente de décroissance plus lente (pente bleue) 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 100 fois supérieurs à ceux mesurés généralement en Europe ([10]), des variations dans l'enfouragement et les compléments alimentaires donnés au bétail ainsi que des sources d'abreuvement variables.

Les résultats sont détaillés dans le tableau AII-9 [3].

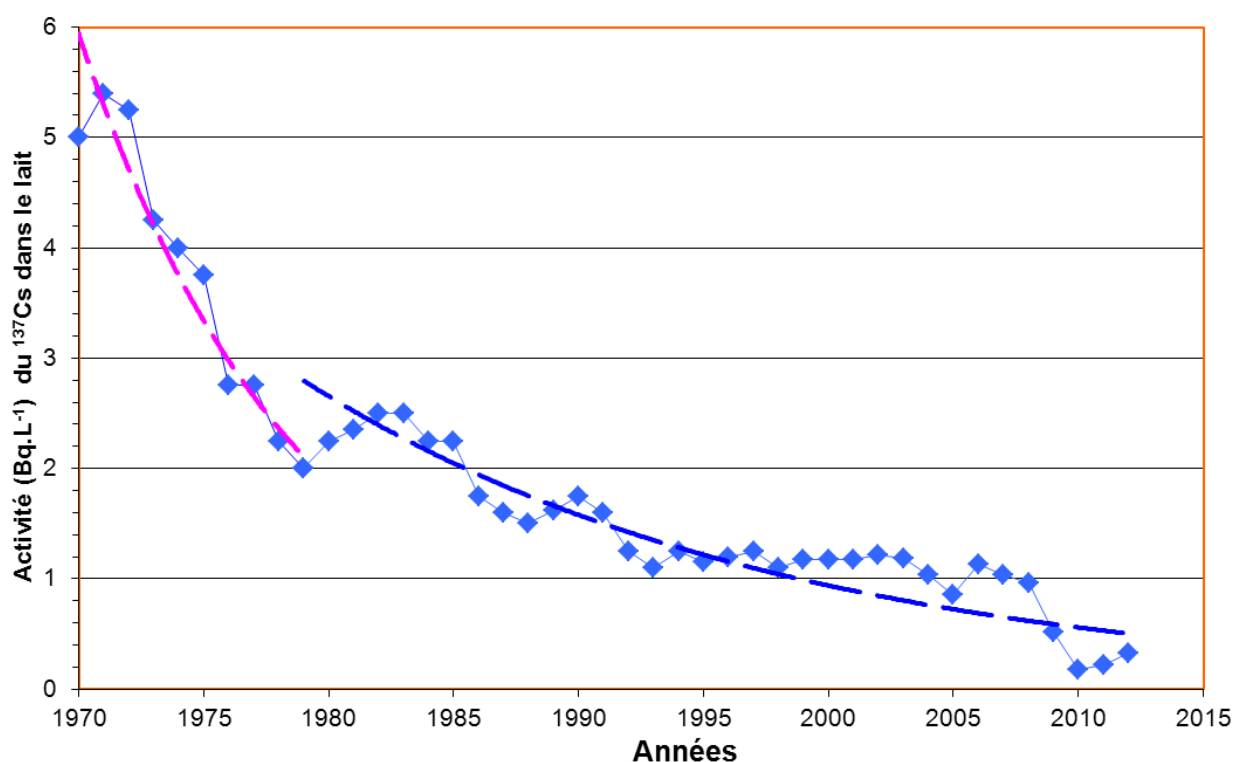


Figure 8 : Evolution depuis 1970 de l'activité en ^{137}Cs du lait provenant des vaches du plateau de Taravao

4.2.2.2 Autres prélèvements d'origine terrestre



En 2012, 91 prélèvements (hors lait) de denrées d'origines locale et régionale provenant des 5 archipels, ont été réalisés : 13 boissons, 31 légumes, 32 fruits, 4 viandes et 2 œufs, auxquels s'ajoutent 9 prélèvements de produits importés.

Les résultats des analyses par spectrométries γ , α pour le Pu, et comptage proportionnel β pour ^{90}Sr (année 2011), sont présentés dans les tableaux de l'annexe II [3]. Depuis 2011, seuls les prélèvements de coprah donnent lieu à une analyse en Pu et en ^{90}Sr [4].

- Près de la moitié des analyses permettent encore de quantifier des traces en ^{137}Cs et seules 2 mesures (viandes de bœuf et de porc de Tahiti) donnent des valeurs supérieures à 1 Bq.kg^{-1} frais (6 en 2011, 2 en 2009 et en 2010, 6 en 2008 et 10 en 2007). 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, est de plusieurs centaines d'années.
- Le ^{60}Co n'est jamais quantifié dans ces échantillons du milieu terrestre.
- Sur les 7 échantillons de coprah mesurés, le ^{238}Pu n'est jamais détecté. 4 résultats en $^{239+240}\text{Pu}$, proches de la limite de détection, sont à des valeurs n'excédant pas $0,02 \text{ mBq.kg}^{-1}$ frais.
- Le ^{90}Sr des échantillons prélevés en 2011 (les résultats relatifs aux échantillons prélevés en 2012 n'étant pas disponibles) donnent tous des résultats inférieurs à la limite de détection ($< 0,11 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais).

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

A 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 pouvant être commercialisés après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique. Ces niveaux, fixés par le règlement (Euratom n°3954/87 et n°944/89)¹, sont indiqués dans le tableau 3 ci-après, dans la colonne de gauche pour chaque type d'aliments et comparés aux valeurs maximales mesurées dans ces mêmes aliments (colonne de droite).

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 2012 dans les denrées de Polynésie française

NMA en Bq.kg^{-1} / concentrations maximales mesurées dans les aliments en Polynésie française en Bq.kg^{-1}						
Radionucléides	Lait et Aliments pour nourrissons		Autres denrées		Liquides	
^{137}Cs ou ^{60}Co	400	$0,34 \pm 0,05^1$	1250	$2,5 \pm 0,2^2$	1000	$0,20 \pm 0,02^3$
Plutonium et émetteurs alpha	1	nm ⁴	80	$1,9 \pm 0,03^5$	20	nm ⁴

Le règlement (EURATOM) n°3954/87 et 944/89, vise à limiter l'exposition des populations de l'Union Européenne à la voie ingestion après tout accident nucléaire ou toute autre situation d'urgence radiologique en définissant des Niveaux Maximaux Admissibles (NMA) dans les denrées alimentaires circulant sur le marché européen. Ce règlement s'applique donc aux échanges intracommunautaires et aux importations depuis un pays tiers. Ce règlement ne vise pas le marché national de chaque pays membre.

¹ Valeur mesurée sur un échantillon de lait de Tahiti

² Valeur mesurée sur un échantillon de bœuf de Tahiti

³ Valeur mesurée sur un échantillon d'eau de coco à Rangiroa

⁴ nm : non mesuré

⁵ Valeur de $^{239+240}\text{Pu}$ mesurée dans un bénitier prélevé à Tubuai

5 EXPOSITION DE LA POPULATION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

5.1 GENERALITES

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, la **radioactivité d'origine naturelle** 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 ;
- A 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) ;
- A la présence de radionucléides naturels présents dans les sols qui induisent un rayonnement tellurique responsable d'une exposition externe (^{239}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 certains endroits du Brésil par exemple) ;
- Au Radon, gaz rare radioactif qui provient de la désintégration de l'uranium présent dans l'écorce terrestre, il est omni présent dans l'air et peut s'accumuler dans les endroits fermés et mal aérés. Compte-tenu, d'une part de la nature des sols en Polynésie, non granitiques et contenant peu d'uranium, on trouve peu de Radon, d'autre part du mode de vie des habitants : maisons largement ouvertes et donc bien aérées, l'accumulation de la faible quantité de radon existant est négligeable. La dose associée à la présence de radon en Polynésie française est relativement faible, elle est estimée 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. A 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'installations nucléaires industrielles mais réalisation d'essais d'armes nucléaires 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 locales importées, et, dans ce cas, il est possible de trouver, outre les radionucléides présents en Polynésie française, d'autres isotopes liés à des activités nucléaires extérieures à la Polynésie ;
- 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 du chapitre suivant 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 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 RADIOACTIVITE 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 du temps pendant lequel se produit l'exposition.

Dans le cas d'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 3 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 doit être réévaluée à l'avenir.

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 [11] et CIPR 67 [12].

L'ensemble des résultats bruts est détaillé dans les tableaux de l'annexe III [3]. Ces doses sont relatives à chaque lieu de prélèvement et pour 2 groupes de populations : les adultes et les enfants de moins de 5 ans.

5.2.1 DOSE EFFICACE ANNUELLE D'ORIGINE ARTIFICIELLE LIEE A 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 [13].

5.2.2 DOSE EFFICACE ANNUELLE D'ORIGINE ARTIFICIELLE LIEE A 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.

5.2.3 DOSE EFFICACE ANNUELLE D'ORIGINE ARTIFICIELLE LIEE A L'INGESTION

La dose efficace annuelle d'origine artificielle ajoutée par l'ingestion est calculée à partir de la ration alimentaire (enquête de 1982 [14] 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, excepté le yaourt, ont été mesurés en 2012. Dans le cas des yaourts, la production locale est maintenant très développée et 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 [4]. Le calcul de dose inclut alors la même valeur durant 5 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 matrice sur une autre île.

A 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.

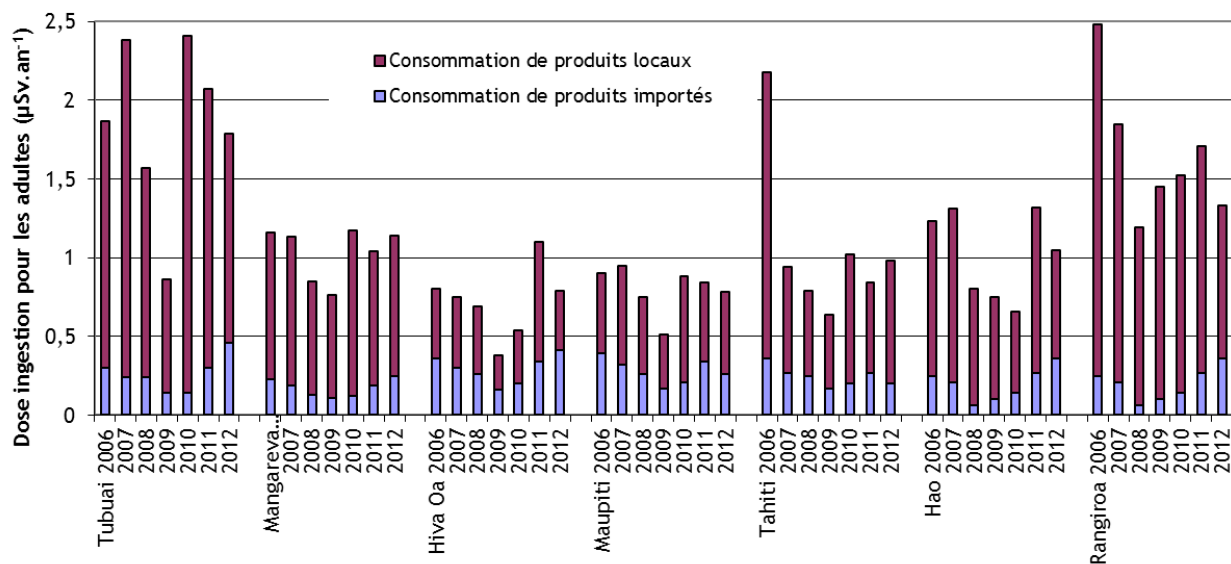


Figure 9 : Doses ajoutées d'origine artificielle de 2006 à 2012 pour les adultes suite à la consommation de produits locaux et importés dans les différentes îles

La figure 9 montre que les contributions à la dose d'origine artificielle pour les adultes (on observe les mêmes tendances pour les doses aux enfants) des produits locaux et importés par île ont diminué de 2008 à 2009 par rapport à celles des deux années précédentes. Néanmoins, ce constat ne traduit pas une tendance évolutive de la radioactivité dans l'environnement. Elle reflète principalement la variabilité des concentrations qui peuvent être mesurées dans certaines denrées. Elle est aussi due à l'amélioration des protocoles d'analyses qui permet d'atteindre depuis 2009 des limites de détection plus basses. En particulier, pour les produits les plus consommés, la durée de comptage des mesures de

spectrométries gamma (^{137}Cs et ^{60}Co) a été rallongée (elle varie de 24 h à 72 h en fonction des échantillons) afin de réduire au mieux les limites de détection.

Les valeurs ont augmenté significativement en 2010, principalement pour les îles (toutes sauf Hao et Rangiroa) où la viande de bœuf provenant de Tahiti est incluse dans la ration alimentaire [7]. En 2012, la concentration du ^{137}Cs dans la viande de bœuf est de $2,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais (3 en 2011, 8,8 en 2010 et 0,9 en 2009).

Enfin, les différences de contribution à la dose d'origine artificielle 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 8 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 identiques.

En 2012, les doses d'origine artificielle estimées, engendrées par la consommation de produits polynésiens sont comprises entre $0,38$ et $1,35 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ (Hiva Oa et Tubuai) pour les adultes, entre $0,31$ et $0,79 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ pour les enfants dans les mêmes îles [3].

En 2012, comme les années précédentes, ce sont les mêmes denrées qui contribuent principalement à la dose des adultes :



Séchage du coprah dans les Tuamotu

- la viande de bœuf de Tahiti ($0,031 \mu\text{Sv.an}^{-1}$), consommée aussi, mais en plus grandes quantités, à Maupiti ($0,13 \mu\text{Sv.an}^{-1}$), à Mangareva ($0,18 \mu\text{Sv.an}^{-1}$) et à Tubuai ($0,45 \mu\text{Sv.an}^{-1}$) ;
- la viande de porc de Tahiti ($0,27 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ en 2012, $0,11 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ en 2011, $0,38 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ en 2010), consommée également à Tubuai ($0,15 \mu\text{Sv.an}^{-1}$) ;
- le coprah à Rangiroa ($0,23 \mu\text{Sv.an}^{-1}$), à Mangareva ($0,20 \mu\text{Sv.an}^{-1}$) ainsi qu'à Hao ($0,15 \mu\text{Sv.an}^{-1}$) ;

- les poissons de lagon à Hao ($0,72 \mu\text{Sv.an}^{-1}$) et à Rangiroa ($0,41 \mu\text{Sv.an}^{-1}$) parce qu'avec $85,5 \text{ kg}$ par an, ce produit est consommé 4 à 10 fois plus que dans les autres îles ;
- les poissons de haute mer à Hiva Oa ($0,12 \mu\text{Sv.an}^{-1}$).

Depuis 6 ans, aucune denrée ne contribue à une dose ajoutée d'origine artificielle supérieure à $1 \mu\text{Sv.an}^{-1}$, alors que des valeurs supérieures à $1 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ avaient encore été observées pour 2 prélèvements en 2006 ($1,3 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ lié à la consommation d'ananas par les adultes à Tahiti et $1,2 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ pour la consommation de coprah à Rangiroa).

Ces valeurs sont à mettre en perspective avec les valeurs de dose 1000 fois plus importantes correspondant à la radioactivité d'origine naturelle présentée au chapitre 5.1. Celle-ci est de l'ordre de 1 à 2 mSv.an^{-1} si l'on tient compte de l'ensemble des sources (radon, rayonnements telluriques et cosmiques, radionucléides naturels tels le ^{40}K).

6 CONCLUSION

En 2012, l'IRSN a poursuivi la surveillance radiologique de la Polynésie française, hors sites de Moruroa et Fangataufa. Elle concerne 7 îles réparties dans les 5 archipels ; Tahiti concentrant 70 % de la population du territoire.

Les mesures de la radioactivité mises en œuvre (spectrométries γ pour les ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co et ^{241}Am , spectrométries α pour les isotopes du Pu et mesure β par comptage proportionnel pour le ^{90}Sr), couvrent la quasi-totalité de la gamme des radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être décelés dans l'environnement étudié.

57 prélèvements ont été effectués pour le domaine physique (air, eaux et sédiments) et 156 pour le domaine biologique, constitué des poissons de haute mer, des poissons et autres produits de lagon et des prélèvements terrestres (légumes, fruits, viandes, lait, boissons diverses). L'ensemble de ces prélèvements a 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 2012 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 observé dans le cas de la viande de bœuf [7].

- ❖ C'est le ^{137}Cs qui a été le plus souvent décelé.
 - Pour l'ensemble des denrées alimentaires, les valeurs sont toujours extrêmement faibles, en général inférieures à 1 Bq.kg^{-1} frais, et souvent inférieures à 0,1.
 - Les valeurs maximales obtenues en 2012 n'excèdent pas $0,32 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais pour les poissons (haute mer et lagon), 10 fois plus faibles pour les autres produits lagunaires.
 - 2 résultats sur 156 analyses réalisées en 2012 (6 sur 153 en 2011) sont supérieurs à 1 Bq.kg^{-1} frais en ^{137}Cs : 2,5 et 2,2 Bq.kg^{-1} frais respectivement pour les viandes de bœuf et de porc prélevées à Tahiti.
 - Tous les résultats obtenus dans les sédiments marins prélevés sur différentes îles des 5 archipels sont inférieurs à $0,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ sec, et bien souvent inférieurs à la LD ($< 0,1$).
 - Dans les eaux douces (source, rivière et pluie), le ^{137}Cs a été décelé, comme les années précédentes, à une valeur extrêmement faible ($0,15 \text{ mBq.L}^{-1}$) dans une eau de rivière uniquement.
 - Dans l'eau de mer, les valeurs obtenues en 2012 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 ^{60}Co n'a été détecté dans aucun échantillon.
- ❖ Quand elles ont été détectées, les activités en Pu (^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$) sont extrêmement faibles. Depuis 2011, le Pu et le ^{90}Sr sont mesurés dans 3 matrices sélectionnées [4] : le mérrou et le bénitier pour le domaine marin lagunaire, le coprah pour le milieu terrestre.

Les isotopes du Pu ont été mesurés à très faibles concentrations dans les 6 prélèvements de bénitiers ainsi que dans le mérrou prélevé à Hao. La chair de mérrou et le coprah provenant de Mangareva et de Rangiroa ainsi que le coprah provenant de Tahiti et Maupiti présentent d'infimes traces en $^{239+240}\text{Pu}$, les valeurs en ^{238}Pu étant en LD pour ces échantillons.

- ❖ Les résultats des analyses en ^{90}Sr pour les échantillons prélevés en 2012 seront inclus dans le rapport du suivi 2013. Les résultats pour le coprah et les poissons de lagon prélevés dans les 7 îles en 2011 sont tous inférieurs à la LD ($< 0,02 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais).
- ❖ L' ^{241}Am a été décelé à l'état de trace dans un seul échantillon de sédiment prélevé en lagon. D'autres prélèvements sont en cours afin de confirmer cette observation sur ce site.

L'exposition des populations à cette radioactivité artificielle résiduelle est essentiellement due à l'ingestion et à l'exposition externe, la composante inhalation étant négligeable.

Aucun aliment ne contribue à la dose par ingestion pour plus de $1 \mu\text{Sv.an}^{-1}$. Quelques aliments, fortement consommés, peuvent contribuer à la dose pour plus de $0,1 \mu\text{Sv.an}^{-1}$. C'est le cas en 2012 de la viande de bœuf de Tahiti consommée aussi à Tubuai, à Mangareva et à Maupiti, de la viande de porc à Tahiti consommée aussi à Tubuai, du poisson de haute mer à Hiva Oa. C'est aussi le cas du coprah à Mangareva, à Hao et à Rangiroa, et des poissons de lagon à Hao et à Rangiroa. En particulier pour ces deux atolls la ration alimentaire est principalement axée (3/4 de la ration annuelle hors boisson) sur ces 2 produits.

Les doses totales annuelles (Annexe IV [3]), sommes des doses d'exposition externe, d'inhalation et d'ingestion, durant les 20 dernières années pour l'ensemble des 5 archipels sont globalement comparables. On peut retenir une moyenne globale sur cette période voisine de $3,5 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ pour les enfants et de $4,5 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ pour les adultes.

Cet ordre de grandeur, relatif à l'ensemble des 3 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 [15]. 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 de fournir une information aussi fine 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. 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. 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.irs.fr. En 2012 cette surveillance dans le pacifique sud est restée renforcée dans le domaine marin pour observer un éventuel impact lié aux rejets radioactifs importants en mer depuis la catastrophe de Fukushima.

- ❖ La fréquence des analyses de l'eau de mer a été mensuelle en 2012 (annuelle auparavant). Les concentrations en ^{134}Cs obtenues tout au long de l'année (inférieures à la LD) confirment que la concentration de ^{137}Cs observée 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.
- ❖ 41 prélèvements de poissons pélagiques (thons, espadon, dorade coryphène, thazard...) ont été réalisés au voisinage des 5 archipels. Aucune augmentation de ^{137}Cs par rapport aux années passées n'a été observée et le ^{134}Cs n'a jamais été décelé.

D'autres prélèvements seront réalisés en 2013 dans les eaux Polynésienne ainsi que dans le ZEE (Zone Economique Exclusive) de Nouvelle-Calédonie afin de poursuivre notre action de surveillance de l'impact de Fukushima dans les zones de pêches de ces territoires.

REFERENCES

- [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., *Rapport d'étape du contrat de projet Etat-Pays 2012-2014*. Rapport PRP-ENV/SESURE 2013-36.
- [3] Bouisset P., *Surveillance de la radioactivité en Polynésie française - Annexes au bilan 2012*. Rapport PRP-ENV/SESURE 2013-35 (2013) 36p.
- [4] Bouisset P., Bernagout S., *Evolution de la stratégie de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française*. Rapport DEI/SESURE 2010-28 (2010) 36p.
- [5] 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.
- [6] Pierrard O. et col., *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2009 - Synthèses des résultats des réseaux de surveillance de l'IRSN*. Rapport IRSN 175p.
- [7] Bouisset P., 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.
- [8] 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.
- [9] New Zealand Ministry of Health. *Environmental radioactivity in New Zealand and Rarotonga - Annual Report 2011*, (2013) 8p.
- [10] Descamps B., *Soil-to-plant, plant-to-milk and plant-to-meat transfers for the oxisols in Tahiti, French Polynesia*. Actes du congrès IRPA 15-19 mai 2006 Paris.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Bouisset P., Leclerc G., 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.
- [14] Grouzelle C., Dominique M., Ducouso R., *Résultats d'une enquête alimentaire effectuée à Tahiti de 1980 à 1982*. Rapport CEA R.5304 (1985) 180p.
- [15] South Pacific Regional Environment Program. *Topic review radioactivity in the South Pacific*. SPREP/Topic review 14 (octobre 1983).

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