

MINISTÈRE DES ARMÉES

DIRECTION DES OPÉRATIONS

DIRECTION GÉNÉRALE
DE L'ARMEMENT

UNITÉ DE MANAGEMENT NUCLÉAIRE
BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE

DÉPARTEMENT DE SUIVI
DES CENTRES D'EXPÉRIMENTATIONS NUCLÉAIRES

SURVEILLANCE DES ATOLLS DE MORUROA ET DE FANGATAUFA



TOME I BILAN RADIOLOGIQUE Année 2019

N°181 DGA/DO/UM NBC/SCEN du 06 septembre 2021
CEA/DIF/DASE/SRCE/92/2021/DO du 04 juin 2021



**SURVEILLANCE DES ATOLLS
DE MORUROA ET DE FANGATAUFA**

TOME II

BILAN RADIOLOGIQUE

ANNEE 2019

Date du document : 07/05/2021

Nombre de pages : 173

ENV 1CPSI RBC NT- 21000115 B

Le Chef de Service
Radioanalyses, Chimie et Environnement

Le Chef de Département
Analyse, Surveillance, Environnement

Sommaire

1	PRESENTATION DE LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE	6
1.1	Historique.....	6
1.2	Situation radiologique de référence des atolls de Moruroa et Fangataufa à l'issue des expérimentations	6
1.3	La surveillance radiologique depuis 1998.....	7
1.4	Publication des résultats de la surveillance	8
1.5	Liste des prélèvements	9
1.6	Les zones de prélèvements	10
1.7	Les radionucléides mesurés dans les échantillons.....	12
1.8	Présentation des résultats.....	14
2	LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT EN ZONE VIE	16
2.1	L'exposition externe en continue	16
2.2	Les aérosols atmosphériques en zone Martine	18
2.3	L'eau du robinet en zone vie Martine	23
2.4	Le sable de plage de la zone vie	24
3	LA SURVEILLANCE DU MILIEU TERRESTRE	27
3.1	Les sols.....	28
3.2	Les noix de coco	37
4	LA SURVEILLANCE DU LAGON.....	48
4.1	Les eaux de lagon.....	49
4.2	Les sédiments.....	56
4.3	Le plancton de lagon.....	67
4.4	Le troca.....	73
4.5	Le poisson chirurgical	78
4.6	Le mérrou.....	83
5	LA SURVEILLANCE DU PLATIER EXTERNE ET DES FLANCS D'ATOLL....	89
5.1	Les eaux des flancs d'atoll	90
5.2	Le turbo soyeux	92
5.3	Le plancton océanique des flancs d'atoll	97
5.4	Les crevettes de profondeur.....	102
5.5	Les poissons pélagiques côtiers	107
6	LA SURVEILLANCE DU MILIEU OCEANIQUE	112
6.1	Les eaux océaniques	113

6.2	Le plancton océanique.....	117
6.3	Les poissons pélagiques hauturiers.....	121
7	CONCLUSIONS	126
8	ANNEXES	127
8.1	Annexe 1 : Surveillance des eaux souterraines	127
8.2	Annexe 2 : Tableaux récapitulatifs des résultats 2019	160
8.3	Liste des figures	166
8.4	Liste des tableaux.....	171

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

AIEA :	Agence Internationale de l'Energie Atomique
ASND :	Autorité de Sûreté Nucléaire de Défense
BPM :	Ex Bureau Postal Militaire
BSAOM :	Bâtiment de Soutien et d'Assistance Outre-Mer
C3S :	Commission de Sûreté pour la Surveillance des anciens Sites d'expérimentations nucléaires
CASA 110 :	Collecteur d'Aérosols pour la Surveillance Atmosphérique, qui a un débit d'au moins 110 m ³ .h ⁻¹
CaSO₄ :	Sulfate de calcium (pour plaquette dosimètre par thermoluminescence, TLD)
CEA :	Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives
CEP :	Centre d'Expérimentation du Pacifique
COFRAC :	COmité FRançais d'ACcréditation
DA 80 :	Collecteur de poussières et d'aérosols modèle DIGITEL DA 80
DAM :	Direction des Applications Militaires
DGA :	Direction Générale de l'Armement (ex Délégation Générale pour l'Armement)
DIRCEN :	DIRection des Centres d'Expérimentations Nucléaires
DSCEN :	Département de Suivi des Centres d'Expérimentations Nucléaires
DSND :	Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les installations et activités intéressant la Défense
EMBSV :	Embarcation de servitude des BSAOM
FLi :	Fluorure de Lithium
Ge HP :	GERmanium Hyper Pur (pour détecteur à semi-conducteur de spectrométrie gamma)
GPS :	Global Positioning System (système de géolocalisation par satellite)
HTO :	Eau tritiée (³ H)
ICPMS :	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (analyse par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif)
LD :	Limite de Détection
RoHS	« Restriction Of Hazardous Substances », directive Européenne sur la restriction de l'utilisation de substances dangereuses.
Si :	Silicium (pour détecteur à semi-conducteur de spectrométrie alpha)
SMCB :	Service Mixte de Contrôle Biologique
SMSR :	Service Mixte de Sécurité Radiologique
SMSRB :	Service Mixte de Surveillance Radiologique et Biologique de l'homme et de l'environnement
Telsite 2 :	Système de télésurveillance du site, de surveillance mécanique automatisé version 2 (mise en service en 2018)
WGS 84 :	World Geodetic System 1984 (système géodésique mondial)

1 PRESENTATION DE LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE

1.1 Historique

Dès le début des essais nucléaires réalisés au Centre d'Expérimentation du Pacifique (CEP), l'environnement a bénéficié d'une surveillance très importante, tant des milieux physiques que biologiques.

Pour réaliser ce suivi, deux services ont été créés en 1964 par le ministère de la Défense et par le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) : le Service Mixte de Contrôle Biologique (SMCB) et le Service Mixte de Sécurité Radiologique (SMSR) fusionnés ensuite en un service unique, le Service Mixte de Surveillance Radiologique et Biologique de l'homme et de l'environnement (SMSRB).

Lors de l'arrêt des expérimentations décidé par le Président de la République le 29 janvier 1996, la volonté du ministère de la Défense de poursuivre la surveillance des sites du CEP s'est traduite par la création d'un organisme responsable de cette mission et des archives du CEP : le Département de Suivi des Centres d'Expérimentations Nucléaires (DSCEN), rattaché à la Direction Générale de l'Armement (DGA). Il succède au SMSRB, dissous en 1998, en même temps que la Direction des Centres d'Expérimentations Nucléaires (DIRCEN).

1.2 Situation radiologique de référence des atolls de Moruroa et Fangataufa à l'issue des expérimentations

La situation radiologique de référence a été établie par les experts de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA – vingt-deux pays représentés) en 1996 et 1997. Cette étude de grande ampleur constatait que la situation radiologique des atolls de Moruroa et de Fangataufa se caractérisait par un faible taux de radioactivité artificielle dans la biosphère et que l'on pouvait relever :

- une activité volumique du tritium dans l'eau des lagons légèrement supérieure au bruit de fond de l'océan,
- un reliquat de plutonium fixé sur la dalle corallienne en zone terrestre «Colette» à Moruroa, provenant des essais aériens de sécurité (Figure 1),
- des traces de césium-137 et de plutonium-239 en zone Kilo à terre à Fangataufa, provenant d'un tir sur barge (Figure 2).

En ce qui concerne le plutonium enfoui dans les sédiments des fonds de lagon, la quantité est estimée à environ 10 kilogrammes. Toutefois, sa très faible mobilité n'entraîne pas d'impact radiologique significatif sur la biosphère.

Au vu de la situation radiologique, l'AIEA concluait notamment (AIEA, 1998¹) :

- « une population hypothétique, qui vivrait à Moruroa de la pêche et des ressources agricoles, recevrait une dose efficace inférieure à 0,01 mSv.an⁻¹, soit 1/200^{ème} de l'exposition naturelle,
- une situation identique pour l'atoll de Tureia, le plus proche atoll au Nord : dose efficace inférieure à 0,005 mSv.an⁻¹ (non significatif),
- le plutonium contenu dans les sédiments du lagon ne présente pas d'impact radiologique, ainsi que le tritium de l'eau du lagon,
- le plutonium particulaire de la zone Colette (à terre) à Moruroa ne peut entraîner qu'un risque négligeable,

¹ AIEA, Comité Consultatif International, 1998. Situation radiologique sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa, AIEA, Rapport principal : 310pp.

- le césium-137 détecté en zone Kilo à Fangataufa ne pourrait être à l'origine, en cas de cultures vivrières purement hypothétiques, que d'une dose efficace inférieure à 0,3 mSv.an⁻¹ ».

1.3 La surveillance radiologique depuis 1998

Les modalités du suivi radiologique et géomécanique des sites du CEP ont été établies en commun par le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives (CEA) et par le ministère de la Défense. Elles ont été formalisées dans les deux guides suivants :

- "Guide de surveillance radiologique des atolls de Moruroa et de Fangataufa",
- "Guide de surveillance géomécanique des atolls de Moruroa et de Fangataufa".

Ces guides et leurs évolutions successives sont approuvés par le Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les installations et activités intéressant la Défense (DSND).

Le guide de surveillance radiologique spécifie les conditions de surveillance, les prélèvements à effectuer et les radionucléides à mesurer. La surveillance radiologique s'exerce :

- en continu par des prélèvements d'aérosols atmosphériques et la mesure de l'équivalent de dose ambiante (ou exposition externe) à l'aide de dosimètres d'ambiance,
- par une campagne annuelle de prélèvements, dite « mission Turbo », dans les milieux physiques et biologiques. Cette campagne d'une durée d'environ deux mois, organisée par le CEA, sous la supervision et le contrôle du DSCEN, implique la collaboration d'une équipe pluridisciplinaire de personnels du CEA appartenant à la Direction des Applications Militaires et du personnel de Polynésie française. Les forces Armées en Polynésie française assurent le soutien technique et logistique de cette campagne.

La surveillance radiologique exercée comprend le suivi de la radioactivité naturelle et artificielle. Elle intéresse les différents compartiments de l'environnement des atolls : le milieu terrestre, le lagon, le platier externe du récif, les flancs d'atoll et la zone océanique des 12 milles marins (ou nautiques).

Les prélèvements et leurs analyses ont été choisis en fonction de leur pertinence vis-à-vis des biotopes, de la place des espèces dans la chaîne alimentaire et de leur pouvoir à concentrer des radionucléides. La version applicable est le guide de 2013, publié en février 2014, qui décrit la surveillance :

- de l'environnement,
- des anciens points « zéro » des essais atmosphériques réalisés entre 1966 et 1974, du banc Colette à Moruroa.

L'ensemble des échantillons prélevés annuellement représente une masse de plusieurs centaines de kilogrammes. L'analyse des prélèvements est réalisée dans les laboratoires du CEA/DAM à Bruyères-le-Châtel, accrédités COFRAC (accréditation n°1-0689 – portée disponible sur www.cofrac.fr). La lecture des dosimètres mesurant l'exposition externe est réalisée à Tahiti par le CEA/DAM à Pamatai. Les résultats d'analyse sont fournis en annexe 2.

Le guide radiologique impose la caractérisation de radionucléides qui sont difficiles à détecter et à mesurer du fait de leur faible concentration. Ceci implique de prélever des échantillons de

masses suffisantes pour abaisser les limites de détection² et tenter d'obtenir un résultat de mesure significatif. Un grand nombre de résultats d'analyses se situe toutefois sous la limite de détection des appareils de mesures malgré les progrès constants réalisés grâce aux évolutions technologiques, aux investissements et développements consentis et au haut niveau d'expertise des laboratoires en charge des analyses. L'abaissement dans le temps des limites de détection est visible sur certains graphiques de suivi de la radioactivité.

1.4 Publication des résultats de la surveillance

Le présent bilan a été présenté à la Commission de Sûreté pour la Surveillance des anciens Sites d'expérimentations nucléaires (C3S). Sur la base de l'avis émis par la C3S, le DSND, autorité de sûreté pour les sites du Centre d'Expérimentations du Pacifique (CEP), a approuvé le bilan 2019.

Ce rapport annuel est publié sur le site internet du ministère des armées et diffusé aux autorités nationales, aux autorités de la Polynésie française et aux associations locales concernées.

Le présent document constitue le tome 1 du rapport scientifique annuel (le tome 2 traite de la surveillance géomécanique).

² La limite de détection, notée LD, fixe le seuil en-dessous duquel les équipements de mesure ne sont plus assez sensibles pour mesurer la radioactivité de l'échantillon considéré. Pour les échantillons correspondants, la valeur réelle de l'activité de l'échantillon (sans qu'il soit possible de la préciser) est alors comprise entre zéro et la limite de détection de l'appareil. En fonction de différents paramètres (temps de mesure, masse de l'échantillon, bruit de fond de l'instrument de mesure, rendement de séparation chimique...) la limite de détection peut varier pour un même appareil.

1.5 Liste des prélèvements

Les prélèvements et les échantillons associés, définis par le guide de surveillance radiologique 2013, sont précisés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Prélèvements et échantillons associés.

Prélèvement	Poids, volume ou support unitaire des échantillons	Fréquence des prélèvements	Nombre d'échantillons annuels		
			Moruroa	Fangataufa	Total
Environnement du personnel					
Aérosol	1 filtre / appareil	Journalière	2 appareils en 1 point	-	730
Exposition externe	Dosimètre	Trimestrielle	6 points	-	24
Eau du robinet	2 x 30 L + 2 x 50 mL	Annuelle	1 point	-	4
Sable de plage	500 mL	Annuelle	1 point	-	1
Milieu terrestre					
Sol	500 mL	Annuelle	2 points	2 points	4
Coprah	4 kg (3 kg)*	Annuelle	3 points	2 points	5
Eau de coco	10 L	Annuelle	3 points	2 points	5
Lagon					
Eau de lagon	2 x 50 mL	Annuelle	5 points	3 points	16
	2 x 30 L	Annuelle	1 point	1 point	4
Sédiment	250 ou 500 mL	Annuelle	6 points	4 points	10
Plancton de lagon	500 g (400 g)*	Annuelle	1 point	1 point	2
Troca*	2 kg (1,5 kg)*	Annuelle	1 point	1 point	2
Chirurgien**	3 kg (2,5 kg)*	Annuelle	1 point	1 point	2
Mérou**	3 kg (2,5 kg)*	Annuelle	1 point	1 point	2
Milieu océanique proche, platier et pente externe de l'atoll					
Eau de flancs d'atoll	2 x 50 mL	Annuelle	2 profondeurs (400 et 600 m) sur 3 radiales	-	12
Turbo soyeux*	2 kg (1,5 kg)*	Annuelle	1 point	1 point	2
Plancton de flancs d'atoll	500 g (400 g)*	Annuelle	1 point		1
	500 g (400 g)*	Année impaire	-	1 point	1
Crevette de profondeur	3 kg (2,5 kg)*	Annuelle	1 point	-	1
Poisson pélagique côtier	3 kg (2,5 kg)*	Annuelle	1 point	1 point	2
Milieu océanique dans la limite des 12 nautiques					
Eau océanique	2 x 50 mL	Annuelle	1 profondeur (5 m)		2
	2 x 50 mL	Tous les 4 ans	5 profondeurs (200, 400, 600 et 800 et 1000 m)		10
	2 x 30 L	Tous les 4 ans	6 profondeurs (5, 200, 400, 600 et 800 et 1000 m)		12
Plancton océanique	500 g (400 g)*	Tous les 4 ans	1 point		1
Poisson pélagique hauturier	3 kg (2,5 kg)*	Annuelle	1 point		1
Sous-sol (observatoires)					
Eau souterraine***	2 x 50 mL + (1 ou 10 L)**	Annuelle	3 points à terre 14 points lagon	4 points lagon	206

* mollusque gastéropode. ** poisson. (*)* masse minimale à prélever. *** à plusieurs profondeurs pour chaque observatoire.

()** pour différentes cotes des observatoires en fonction de l'activité de l'eau tritiée (mesure HTO).

La Figure 3 présente la limite de la zone océanique des 12 milles marins autour des atolls de Moruroa et Fangataufa.

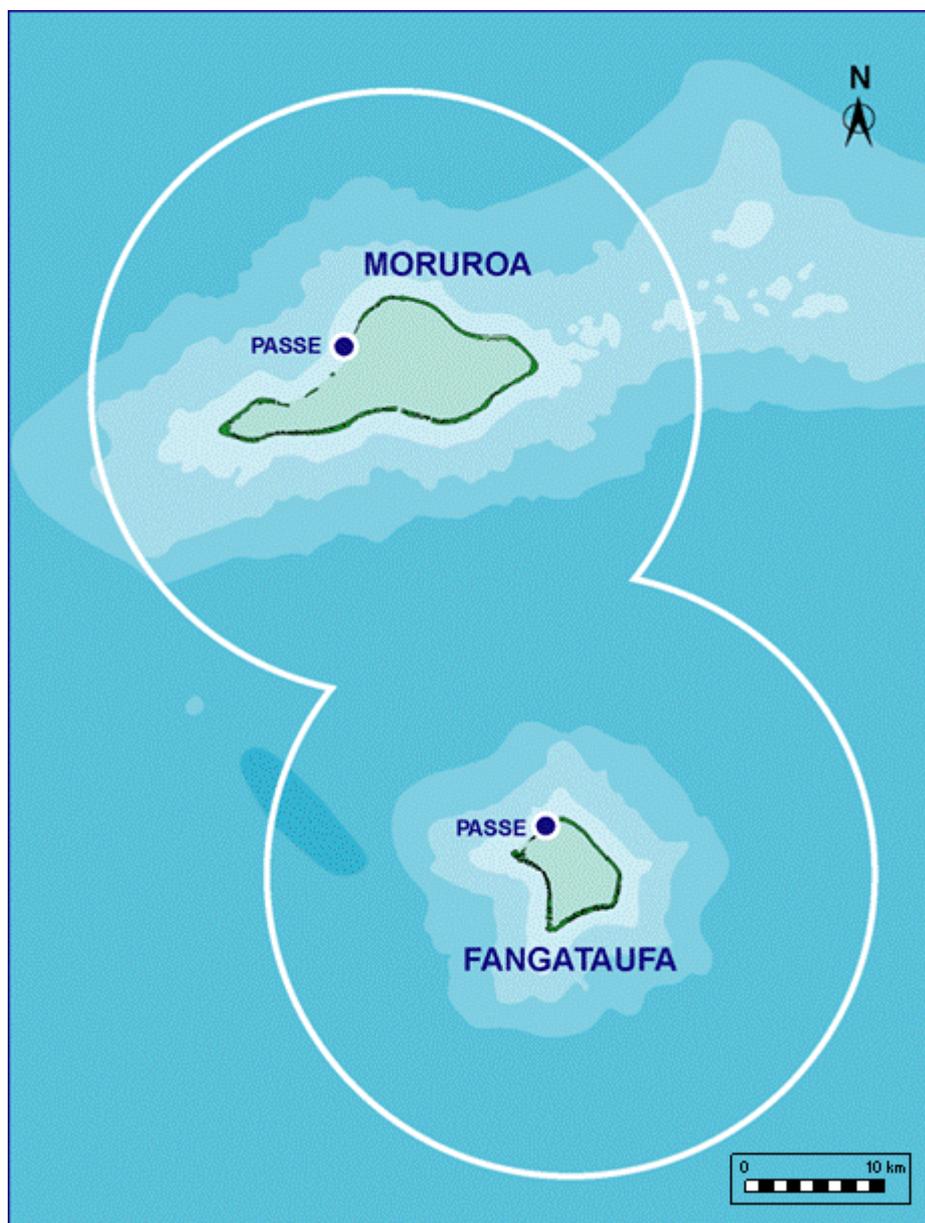


Figure 3. Carte de la limite de zone océanique des 12 milles marins (ou nautiques) autour de Moruroa et Fangataufa.

1.7 Les radionucléides mesurés dans les échantillons

Le Tableau 2 présente la liste des radionucléides mesurés dans le cadre de la surveillance des atolls. Les symboles et les périodes radioactives³ des radionucléides sont également précisés (sources : <http://www.laraweb.free.fr> et <http://www.nucleide.org>).

Tableau 2. Liste des radionucléides mentionnés, leur symbole et leur période radioactive propre.

Radionucléides	Nom	Symbole	Période propre
Naturel	Béryllium-7	⁷ Be	53,2 jours
	Sodium-22	²² Na	2,6 ans
	Potassium-40	⁴⁰ K	1,3 10 ⁹ ans
	Plomb-210	²¹⁰ Pb	22,2 ans
	Plomb-214	²¹⁴ Pb	26,92 minutes
	Radium-226	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	1 600 ans
	Actinium-228	²²⁸ Ac	6,15 heures
	Thorium-232	²³² Th (²²⁸ Ac)	1,4 10 ¹⁰ ans
	Thorium-234	²³⁴ Th	24,1 jours
	Uranium-235	²³⁵ U	7,04 10 ⁸ ans
	Uranium-238	²³⁸ U	4,47 10 ⁹ ans
Artificiel	Tritium	³ H (HTO)	12,3 ans
	Cobalt-60	⁶⁰ Co	5,27 ans
	Strontium-90	⁹⁰ Sr (⁹⁰ Y)	28,8 ans
	Césium-137	¹³⁷ Cs (^{137m} Ba)	30,1 ans
	Europium-155	¹⁵⁵ Eu	4,75 ans
	Plutonium-238	²³⁸ Pu	87,7 ans
	Plutonium-239	²³⁹ Pu	2,41 10 ⁴ ans
	Plutonium-240	²⁴⁰ Pu	6 561 ans
Américium-241	²⁴¹ Am	432,7 ans	

Les radionucléides d'origine naturelle et artificielle⁴ recherchés dans les échantillons et prescrits par le guide de surveillance radiologique 2013 sont présentés dans le Tableau 3.

³ La période radioactive (ou demi-vie) est le temps nécessaire pour que la moitié des atomes se désintègrent. C'est une propriété liée à l'élément radioactif – radionucléide – considéré.

⁴ L'antimoine 125 (¹²⁵Sb) ayant disparu par décroissance (période radioactive de 2,77 ans) les valeurs en limite de détection de l'antimoine 125 ne sont plus données dans les tableaux de résultats (décision ASND/2019-00388 du 21 mai 2019).

Tableau 3. Radionucléides recherchés dans les prélèvements.

Prélèvement	Localisation	HTO	Pu	⁹⁰ Sr	Spectrométrie gamma (γ)
Aérosol	Moruroa : Casa 110 en Martine		•		Mensuelle • ⁷ Be, ²² Na, ⁴⁰ K, ²¹⁰ Pb, ¹³⁷ Cs
Exposition externe	Moruroa : Denise, Kathie, Martine, Viviane, Faucon, Dindon				• exposition externe gamma (γ)
Eau du robinet	Moruroa : Martine BPM	• LD = 0,5 Bq.L ⁻¹	•	•	• ¹³⁷ Cs
Sable de plage	Moruroa : entre Anémone et Martine		•	si ¹³⁷ Cs > 1 Bq.kg ⁻¹	• ⁴⁰ K, ²³⁴ Th, ²¹⁴ Pb, ²¹⁰ Pb, ²³⁵ U, ²²⁸ Ac, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs, ¹⁵⁵ Eu, ²⁴¹ Am
Sol	Moruroa : Jeanne, Martine Casa		•	si ¹³⁷ Cs > 1 Bq.kg ⁻¹	• ⁴⁰ K, ²³⁴ Th, ²¹⁴ Pb, ²¹⁰ Pb, ²³⁵ U, ²²⁸ Ac, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs, ¹⁵⁵ Eu, ²⁴¹ Am
	Fangataufa : Frégate, Kilo coco		••		
Coprah	Moruroa : Denise, Faucon, zone Est		•	•	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
	Fangataufa : Frégate, Kilo coco		•		
Eau de coco	Moruroa : Denise, Faucon, zone Est		•	•	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
	Fangataufa : Frégate, Kilo coco		•		
Eau de lagon	Tous les points choisis	• LD = 0,5 Bq.L ⁻¹			
	MITRE 26, ZANCLUS 25		•	•	• ¹³⁷ Cs
Sédiment	APRION 06, GORGONE 05, LIMNEE 21, MITRE 09, MITRE 26, TROQUE 13				• ⁴⁰ K, ²³⁴ Th, ²¹⁴ Pb, ²¹⁰ Pb, ²³⁵ U, ²²⁸ Ac, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs, ¹⁵⁵ Eu, ²⁴¹ Am
	LABRE 40, MURENE 40, ORQUE 41, PIEUVRE 43		•		
Plancton de lagon	Moruroa, Fangataufa		•	si ¹³⁷ Cs > 1 Bq.kg ⁻¹	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Troca*	Moruroa, Fangataufa		•	si ¹³⁷ Cs > 0,5 Bq.kg ⁻¹	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Chirurgien**	Moruroa, Fangataufa		•	si ¹³⁷ Cs > 0,5 Bq.kg ⁻¹	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Mérou**	Moruroa, Fangataufa		•	•	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Eau de flanc d'atoll	Moruroa : secteur 2	• LD = 0,5 Bq.L ⁻¹			
Turbo soyeux*	Moruroa, Fangataufa		•	•	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Plancton de flancs d'atoll	Moruroa : secteur 2		•	si ¹³⁷ Cs > LD	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
	Fangataufa : tour d'atoll		•••	si ¹³⁷ Cs > LD	••• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Crevette de profondeur	Moruroa : secteur 2		•		• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Poisson pélagique côtier	Moruroa, Fangataufa		•	•	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Eau océanique	à -5 m, entre Moruroa et Fangataufa	• LD = 0,5 Bq.L ⁻¹	••	••	•• ¹³⁷ Cs
	à - 200 m, - 400 m, - 600 m, - 800 m, - 1000 m entre Moruroa et Fangataufa	•• LD = 0,5 Bq.L ⁻¹	••	••	•• ¹³⁷ Cs
Plancton océanique	Aux limites des 12 nautiques de Moruroa et Fangataufa		••	si ¹³⁷ Cs > LD	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Poisson pélagique hauturier	Au large de Moruroa ou de Fangataufa		•	•	• ⁴⁰ K, ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs
Eau souterraine	MURENE 27	•		•	• ¹³⁷ Cs
	FLET 08	•		♦	• ¹³⁷ Cs
	ORQUE 13	•		♦♦	♦♦ ¹³⁷ Cs
	KRILL 23 (220 m), MURENE 16 (230 m), PIEUVRE 37 (300 m), TAZARD 14 (290 m), FUSEAU 30 (193 m)	•	•	♦♦♦	♦♦♦ ¹³⁷ Cs
	Autres profondeurs et observatoires	•		♦♦♦	♦♦♦ ¹³⁷ Cs

* Mollusque gastéropode

• Prélèvement annuel

♦ Si évolution significative en ¹³⁷Cs

** poisson

•• prélèvement tous les 4 ans

♦♦ si évolution significative en HTO

••• prélèvement année impaire

♦♦♦ si l'année précédente HTO > 2 Bq.L⁻¹

1.8 Présentation des résultats

1.8.1 Unités de mesure

Les résultats de mesure de la radioactivité naturelle et artificielle sont exprimés de manière différente suivant le type d'échantillon. Les unités employées sont celles habituellement rencontrées dans les publications scientifiques.

Le Tableau 4 présente les unités utilisées dans le rapport en fonction du type d'échantillons.

Tableau 4. Unités utilisées dans le document.

Famille de prélèvements	Unité	Notation
Dosimétrie	Micro Sievert par an	$\mu\text{Sv} \cdot \text{an}^{-1}$
Aérosols	Micro Becquerel par mètre cube d'air	$\mu\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$
Eau du robinet	Becquerel par litre d'eau	$\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$
Eaux		
Sédiments et sols	Becquerel par kilogramme	$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} *$
Échantillons biologiques	Becquerel par kilogramme ou par litre	$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} **$ ou $\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$

* masse de l'échantillon (mesurée après séchage)

** masse de l'échantillon frais

Depuis 2002, le laboratoire d'analyse fournit les résultats des analyses effectuées sur les différents prélèvements d'eaux en $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. De 2002 à 2017, le suivi des activités des eaux était exprimé en $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Pour réaliser la conversion, la masse volumique de l'eau de mer a été prise égale à $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. À partir du bilan 2018, le suivi des activités des eaux est exprimé en $\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ et pour la conversion, la masse volumique de l'eau de mer a été prise égale à $1 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ par approximation.

Les coordonnées GPS de chaque lieu de prélèvement sont données suivant le référentiel géodésique WGS84.

1.8.2 Expression et présentation des résultats et des limites de détection (LD)

Tous les résultats sont exprimés avec leur incertitude de mesure calculée à plus ou moins deux écarts-types ($\pm 2\sigma$), à l'exception de celle liée à la mesure de l'exposition externe calculée à plus ou moins 1 écart-type ($\pm 1\sigma$).

Les limites de détection (LD) présentent une variabilité inhérente aux processus de mesure. Les fluctuations observées sont fonction : des performances intrinsèques de l'instrument de mesure, du bruit de fond instrumental, du rendement de préparation de l'échantillon par exemple.

Les incertitudes de mesure sont indiquées dans les tableaux de résultats. Les valeurs de mesures précédées du signe « \leq » signifient que ces valeurs sont inférieures à la limite de détection des appareils de mesures. Certains tableaux présentent des rapports de mesures entre radionucléides. Si au moins une des valeurs de mesures du rapport est inférieure à la limite de détection, le rapport n'est pas calculé. La cellule correspondante est alors grisée et comporte alors l'indication « NC » pour non calculée. De la même manière dans les tableaux, les cellules grisées indiquent que l'activité du radionucléide n'a pas été mesurée, conformément au guide de surveillance radiologique 2013.

Les graphiques de suivi des évolutions présentent l'axe du temps en abscisse. En dehors des graphiques de suivi des aérosols qui utilisent des subdivisions en mois, l'axe du temps

représente les années. Dans ce cas, l'unité de l'année est utilisée pour répartir les mesures afin d'en faciliter la lecture.

Le nombre important des valeurs mesurées peut surcharger certains graphiques de suivi des évolutions jusqu'à les rendre difficilement lisibles. Dans la mesure du possible, toutes les mesures sont présentées. Dans certains cas, la moyenne des valeurs mesurées peut être présentée pour améliorer la lisibilité du graphique.

Dans les graphiques, les résultats de mesure inférieurs aux limites de détection sont représentés par des barres d'incertitudes qui atteignent l'axe des abscisses sans matérialisation de la mesure. La limite haute de cette barre donne la valeur de la limite de détection. Les graphiques de suivi des valeurs mesurées en fonction du temps, dont les valeurs sont depuis plusieurs années inférieures aux limites de détection des appareils de mesure, ne sont pas systématiquement présentés dans le rapport.

1.8.3 Résultats des années antérieures

Certains prélèvements ne sont pas réalisés :

- soit parce que la fréquence de prélèvement prévue par le guide n'est pas annuelle,
- soit parce qu'un événement extérieur a empêché la réalisation du prélèvement (panne de matériel, conditions météorologiques, etc...).

Dans ce cas, afin que le rapport soit autoporteur, les résultats des mesures antérieures les plus récentes liées à ces prélèvements sont rappelés dans le corps du présent rapport. Pour faciliter la lecture du rapport, ces résultats sont présentés **en caractères bleus**. De la même manière dans les tableaux, les cellules grisées indiquent que l'activité du radionucléide n'a pas été mesurée, conformément au guide de surveillance radiologique 2013.

Il s'est écoulé plus de vingt ans depuis le début de la surveillance post expertise de l'AIEA. Afin d'homogénéiser et d'alléger la présentation des courbes dont certaines devenaient difficilement lisibles, les graphiques commencent en 1997, et d'anciennes mesures réalisées sur les zones actuellement surveillées ont été ajoutées sur quelques graphes.

1.8.4 Résultats de l'année

Depuis 1997, une surveillance post-expérimentations sur les sites de Moruroa et de Fangataufa est menée en continu et donne lieu à un rapport annuel.

L'ensemble des prélèvements prévus de la campagne 2019 ont été réalisés. Les analyses sont présentées dans le bilan annuel qui suit.

Après la recherche d'une solution fiable pour l'avenir, le choix et la commande d'un nouveau système de dosimétrie (dosimètres de type verre radiophotoluminescent (RPL) et leur lecteur) ont été validés courant 2017 auprès du seul fournisseur mondial (japonais). Les nouvelles normes RoHS ont retardé l'approvisionnement de ces matériels. Le nouveau lecteur provenant du Japon a finalement pu être mis aux normes RoHS et est opérationnel sur site depuis 2020.

2.1.1 Localisation des dosimètres

La mesure de l'exposition externe sur l'atoll de Moruroa est effectuée par les dosimètres aux six emplacements repérés sur la Figure 4. Ces derniers sont installés dans des boîtes comme l'illustre la Figure 5.



Figure 5. Exemple de boîte contenant le dosimètre à Kathie.

2.1.2 Résultats de l'analyse des dosimètres

Compte tenu des dysfonctionnements constatés, la publication des valeurs mesurées est suspendue jusqu'à la disponibilité des nouvelles mesures et l'adoption par la C3S des nouveaux moyens de mesures adaptés à la surveillance de l'exposition externe du site. Sur l'année 2020, la dose mesurée par le nouveau système de dosimétrie RPL est de 294 ± 44 μ Sv.

2.2 Les aérosols atmosphériques en zone Martine

La surveillance de l'air est assurée au moyen de deux appareils de prélèvements d'aérosols (type CASA 110) qui fonctionnent en permanence à Moruroa (Figure 6). L'emploi de deux appareils permet de garantir la poursuite des prélèvements en cas de panne d'un des appareils.

Compte tenu du vieillissement de ces appareils, une nouvelle génération de CASA a été installée en avril 2006 pour une mise en service officielle au 1^{er} janvier 2007. À cette même date, les appareils ont été déplacés vers une zone proche mais plus dégagée afin d'obtenir des mesures globales plus représentatives de la zone vie, comme indiqué sur la Figure 7.

Outre ce changement d'appareil, les filtres (couleur rose⁶), utilisés depuis des années, n'étant plus commercialisés, ont été remplacés par de nouveaux filtres (couleur bleue⁷) à partir du 1^{er} janvier 2010 et une étude comparative a été menée entre janvier et décembre 2009 pour vérifier la similitude des résultats obtenus.



Figure 6. Appareils de prélèvement des aérosols en zone Martine : CASA 110.

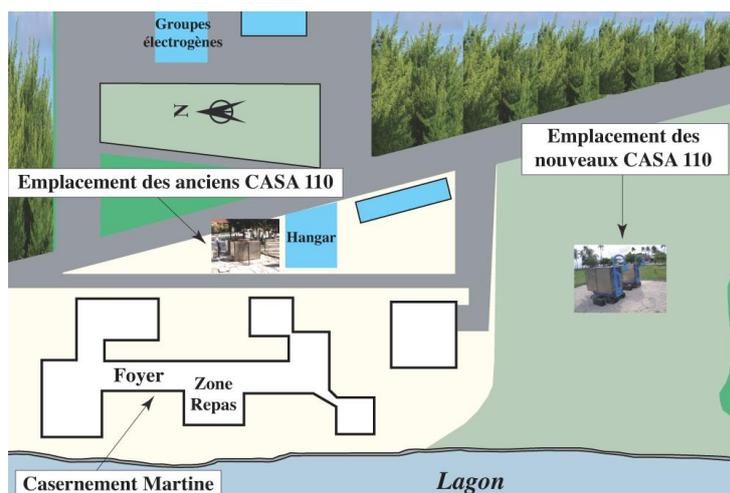


Figure 7. Localisation des anciens et nouveaux CASA 110 en zone Martine.

⁶ Filtres Bernard Dumas C-577

⁷ Filtres Bernard Dumas B-132

2.2.1 Les prélèvements atmosphériques

Les aérosols atmosphériques sont collectés sur des filtres changés chaque jour. Le point de prélèvement est donné sur la Figure 7. Les filtres sont regroupés par mois et par appareil puis expédiés en métropole pour être analysés.

2.2.2 Résultats des analyses des filtres

Conformément au guide de surveillance radiologique 2013, il est recherché aussi bien les radionucléides d'origine naturelle qu'artificielle.

Les filtres de l'appareil de référence font l'objet d'une mesure par spectrométrie gamma (γ) sur détecteur semi-conducteur germanium Haute Pureté (Ge HP). Une mise en solution et une extraction chimique sont ensuite réalisées afin d'isoler les isotopes du plutonium. L'activité du dépôt résultant du traitement chimique est mesurée par spectrométrie alpha (α). En cas de panne de l'appareil de référence, la mesure pour le mois concerné est effectuée sur les filtres de l'appareil de secours.

En 2009, lors du passage des filtres « roses » aux filtres « bleus », les filtres de l'appareil de secours ont été analysés comme les filtres de l'appareil de référence. Cette double analyse a permis d'apprécier l'impact acceptable du changement de type de filtre sur les mesures.

En 2016, suite à une indisponibilité simultanée des deux CASA 110 et à l'utilisation palliative d'un DA80, toutes les analyses n'ont pas pu être réalisées. Les filtres du DA80 récoltés ne pouvant pas être traités en radiochimie, une lecture directe avec une sonde alpha (mesure du plutonium en particulier) a permis de recueillir des résultats qui sont tous inférieurs aux limites de détection des appareils de mesure.

En 2017, le DA80 est resté en place et a donné des résultats inférieurs aux limites de détection des appareils de mesure. De janvier à juillet 2017, une nouvelle panne et des difficultés d'approvisionnement de pièces de rechange sur l'un des préleveurs d'air CASA 110 ont empêché une partie des prélèvements journaliers et une partie des analyses prévues pour cette période. Une phase d'étude et de test est en cours pour remplacer ces appareils qui vieillissent rapidement du fait des conditions atmosphériques difficiles sur les atolls. La garantie de la qualité des mesures, la robustesse du matériel et sa facilité d'entretien seront privilégiées.

Aucun dysfonctionnement n'est à signaler pour l'année 2019. Les deux appareils ont fonctionné durant les douze mois de l'année sans panne majeure. Ainsi, les analyses mensuelles ont pu être réalisées et les résultats sont présentés dans les sections qui suivent.

2.2.2.1 Radioactivité d'origine naturelle de l'air

Quatre radionucléides d'origine naturelle ont été retenus : le béryllium-7 (^7Be) et le sodium-22 (^{22}Na) comme traceurs atmosphériques issus des hautes couches de l'atmosphère et le potassium-40 (^{40}K) et le plomb-210 (^{210}Pb), comme traceurs des émissions telluriques. En effet :

- **le béryllium-7** est produit principalement dans les hautes couches de l'atmosphère par interaction du rayonnement cosmique avec les atomes d'oxygène et d'azote,
- **le sodium-22** est créé dans la haute atmosphère sous l'effet du rayonnement cosmique. C'est un radionucléide cosmogénique,
- **le potassium-40** provient du sol et partiellement de l'eau de mer (embruns),
- **le plomb-210** présent dans la basse atmosphère est produit par la désintégration du radon-222, descendant gazeux du radium-226 présent dans les sols. Il est rapidement piégé par les aérosols puis déposé au sol par les précipitations.

Le Tableau 5 présente les résultats de l'activité volumique atmosphérique d'origine naturelle enregistrée par l'appareil de référence en zone Martine à Moruroa en 2019. Ces résultats mensuels sont calculés à partir des concentrations mensuelles mesurées pondérées des volumes d'air filtrés au cours du mois.

Tableau 5. Activité volumique atmosphérique d'origine naturelle en zone Martine pour l'année 2019. Les résultats sont exprimés en $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Référence de l'appareil CASA 110 : 14 805	Atoll	Mois	^7Be	^{22}Na	^{40}K	^{210}Pb
	Moruroa	Janvier	3320 \pm 210	0,23 \pm 0,10	7,2 \pm 1,5	76 \pm 8
		Février	3070 \pm 200	\leq 0,30	8,3 \pm 3,1	60 \pm 7
		Mars	3760 \pm 240	\leq 0,25	9,0 \pm 1,6	47 \pm 6
		Avril	2970 \pm 180	\leq 0,38	8,7 \pm 3,5	36 \pm 8
		Mai	3270 \pm 210	\leq 0,29	6,9 \pm 3,0	40 \pm 6
		Juin	4270 \pm 270	0,40 \pm 0,11	9,7 \pm 3,3	56 \pm 7
		Juillet	3120 \pm 200	\leq 0,26	8,6 \pm 1,5	47 \pm 5
		Août	3360 \pm 210	0,46 \pm 0,21	6,7 \pm 3,6	58 \pm 6
		Septembre	4200 \pm 270	0,26 \pm 0,21	6,9 \pm 1,4	86 \pm 8
		Octobre	4450 \pm 280	0,47 \pm 0,40	6,3 \pm 1,3	102 \pm 9
		Novembre	3140 \pm 200	\leq 0,29	5,4 \pm 2,7	85 \pm 8
Décembre		3110 \pm 190	0,33 \pm 0,28	6,4 \pm 2,6	63 \pm 6	

Le suivi mensuel pour l'année 2019 montre que l'activité mensuelle en ^{22}Na reste voisine ou inférieure à la limite de détection des appareils de mesure.

La Figure 8 présente le suivi de l'activité volumique atmosphérique mensuelle du ^7Be , ^{22}Na , ^{40}K et ^{210}Pb en zone Martine à Moruroa depuis 1997.

Le suivi annuel montre une nouvelle fois une cohérence entre l'ensemble des valeurs mesurées depuis 1997, ce qui est attendu pour ces radionucléides naturels.

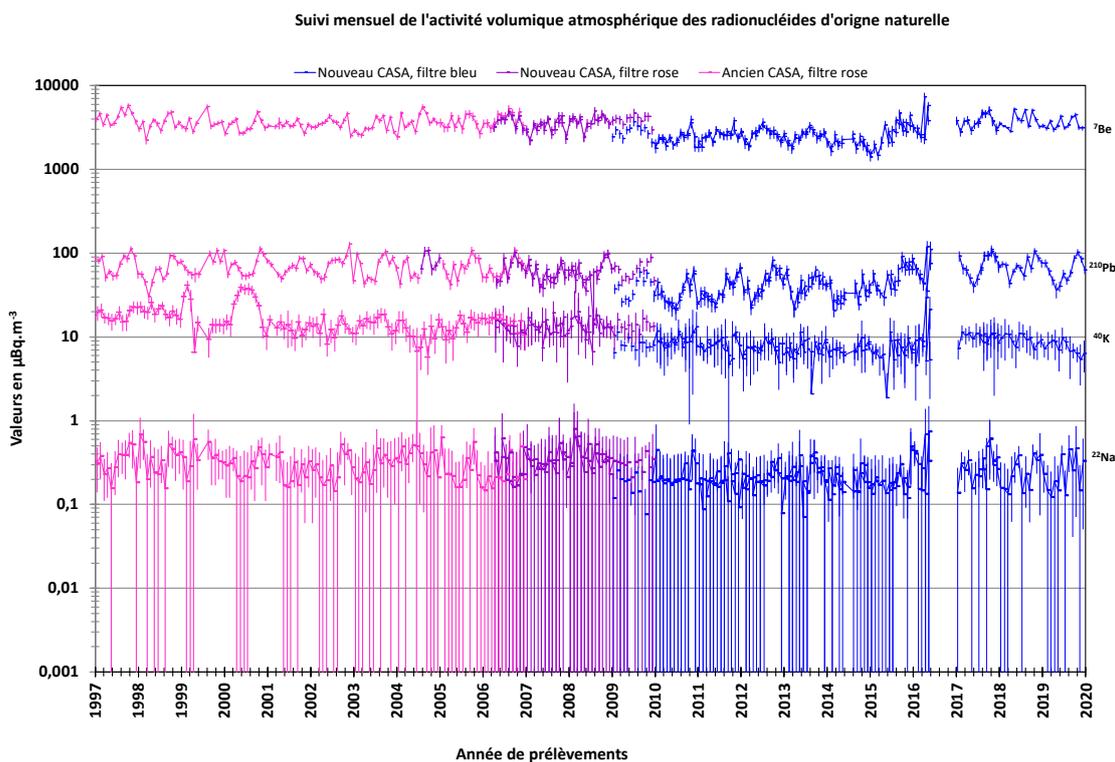


Figure 8. Suivi mensuel de l'activité volumique atmosphérique des radionucléides d'origine naturelle (^7Be , ^{22}Na , ^{40}K et ^{210}Pb) en zone Martine à Moruroa depuis 1997.

2.2.2.2 Radioactivité d'origine artificielle de l'air

Les radionucléides artificiels recherchés sont le césium-137 (^{137}Cs), le plutonium-238 et les plutonium-239 et -240 (^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$).

Le Tableau 6 présente les résultats de l'activité volumique atmosphérique d'origine artificielle en zone Martine à Moruroa en 2019.

Tableau 6. Activité volumique atmosphérique d'origine artificielle en zone Martine en 2019. Les résultats sont exprimés en $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Référence de l'appareil CASA 110 : 14 805	Atoll	Mois	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
	Moruroa	Janvier	$\leq 0,16$	$\leq 0,0024$	$0,013 \pm 0,003$
		Février	$\leq 0,17$	$0,0019 \pm 0,0014$	$0,027 \pm 0,004$
		Mars	$\leq 0,15$	$\leq 0,0024$	$0,009 \pm 0,003$
		Avril	$\leq 0,24$	$\leq 0,0038$	$0,004 \pm 0,002$
		Mai	$\leq 0,16$	$\leq 0,0017$	$0,011 \pm 0,003$
		Juin	$\leq 0,16$	$\leq 0,0023$	$0,010 \pm 0,003$
		Juillet	$\leq 0,15$	$\leq 0,0026$	$0,011 \pm 0,003$
		Août	$\leq 0,15$	$\leq 0,0030$	$0,015 \pm 0,003$
		Septembre	$\leq 0,15$	$\leq 0,0029$	$0,020 \pm 0,004$
		Octobre	$\leq 0,15$	$\leq 0,0014$	$0,004 \pm 0,002$
		Novembre	$\leq 0,16$	$\leq 0,0025$	$0,022 \pm 0,004$
Décembre		$\leq 0,15$	$\leq 0,0023$	$0,013 \pm 0,003$	

La Figure 9 présente le suivi de l'activité volumique atmosphérique mensuelle en ^{239}Pu + ^{240}Pu en zone Martine à Moruroa depuis 1997.

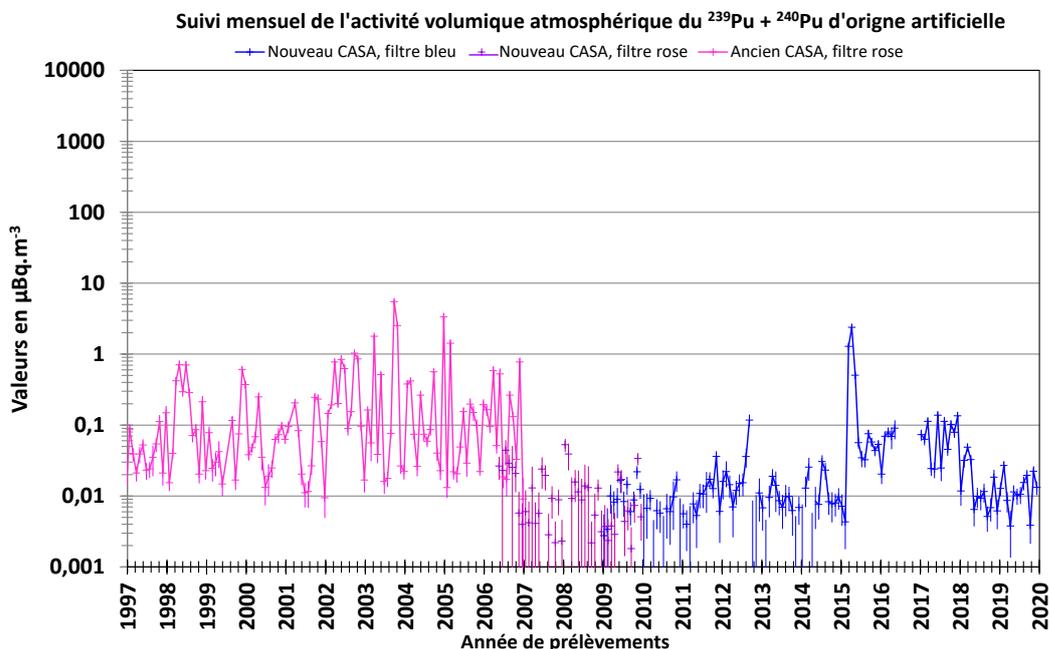


Figure 9. Suivi mensuel de l'activité volumique atmosphérique d'origine artificielle en ^{239}Pu + ^{240}Pu en zone Martine à Moruroa depuis 1997.

Les valeurs mensuelles en ^{137}Cs et ^{238}Pu mesurées en 2019 sont toutes inférieures ou très proches de la limite de détection des appareils de mesure. Ces valeurs étant inférieures ou très proches de la limite de détection depuis 2002, les graphiques de suivi de leurs évolutions dans le temps ne sont donc pas présentés.

Seule l'activité en ^{239}Pu + ^{240}Pu reste détectable et supérieure à la limite de détection mais à des niveaux extrêmement faibles.

Le suivi annuel montre que :

- la baisse relative des résultats de mesures à partir de 2007 est concomitante au déplacement des appareils,
- le pic de 2015 en ^{239}Pu + ^{240}Pu et l'augmentation des valeurs mesurées de 2016 à 2018 (échelle en $\mu\text{Bq.m}^{-3}$) sont attribués à une concentration plus élevée des poussières présentes dans l'air aux abords des préleveurs pendant le chantier Telsite 2 (présence d'engins de chantier et de davantage de véhicules légers).

2.3 L'eau du robinet en zone vie Martine

L'eau du robinet est produite à Moruroa à partir de l'eau du lagon filtrée par osmose inverse. Cette eau, potable, est aussi utilisée pour les sanitaires. Il est à noter que l'atoll de Fangataufa n'est pas habité contrairement à celui de Moruroa.

Depuis 2006, un prélèvement d'eau du robinet en zone vie Martine est réalisé chaque année. Le prélèvement est généralement fait dans les locaux de l'ancien Bureau Postal Militaire (BPM). Le point de prélèvement est donné sur la Figure 4. Les coordonnées géographiques du lieu de prélèvement sont données dans le Tableau 7.

Tableau 7. Caractéristiques des prélèvements d'eau du robinet à Moruroa.

Localisation	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Martine BPM	28/03/2019	21°49,628'	138°47,083'	2 x 30 L 2 x 50 mL

2.3.1 Les prélèvements d'eau du robinet

Les volumes prélevés sont :

- deux fois trente litres pour les mesures du césium-137 (^{137}Cs), du strontium-90 (^{90}Sr) et du plutonium-238 (^{238}Pu), plutonium-239 + plutonium-240 ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$),
- deux fois cinquante millilitres pour la mesure du tritium (eau tritiée - HTO).

2.3.2 Résultats des analyses de l'eau du robinet

Les mesures effectuées sont :

- une spectrométrie gamma (γ) sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs),
- une recherche et une mesure des isotopes du plutonium (^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) par spectrométrie alpha (α) sur détecteur semi-conducteur au silicium,
- la mesure du ^{90}Sr par dosage sur compteur proportionnel bas bruit par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium-90 (^{90}Y),
- une scintillation liquide pour la mesure du HTO (teneur en eau tritiée).

Le guide de 2013 ne prévoit pas de surveillance de la radioactivité naturelle de l'eau du robinet mais seulement de sa radioactivité artificielle.

Le Tableau 8 présente les résultats des analyses sur l'eau du robinet à Moruroa.

Tableau 8. Résultats des mesures des radionucléides artificiels sur l'analyse de l'eau du robinet à Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L^{-1} .

Localisation	HTO	^{90}Sr	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
Martine	$\leq 0,5$	$\leq 1,4 \cdot 10^{-4}$	$\leq 5,3 \cdot 10^{-4}$	$\leq 4,9 \cdot 10^{-6}$	$\leq 4,9 \cdot 10^{-6}$

Les activités volumiques des radionucléides mesurées en 2019 sont toutes inférieures aux limites de détection des appareils de mesures, comme cela a été observé depuis le début de la surveillance de l'eau du robinet à Moruroa en 2006.

2.4 Le sable de plage de la zone vie

2.4.1 Les prélèvements de sable de plage

Depuis 2005, un prélèvement de sable de surface est réalisé, chaque année sur la plage située entre Martine et Anémone, côté lagon en zone vie à l'Est de Moruroa (Figure 4). Ce prélèvement est effectué sur une épaisseur de 5 à 10 cm (Figure 10). Les coordonnées géographiques du lieu de prélèvement sont données dans le Tableau 9.

Tableau 9. Caractéristiques des prélèvements de sable de plage à Moruroa.

Localisation	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Plage entre Martine et Anémone	21/03/2019	21°49,865'	138°47,088'	500 mL



Figure 10. Prélèvements du sable de plage à Moruroa.

2.4.2 Résultats des analyses du sable de plage

Les mesures effectuées sont :

- une spectrométrie gamma (γ) sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs et autres émetteurs γ),
- une recherche et une mesure des isotopes du plutonium (^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) par spectrométrie alpha (α) sur détecteur semi-conducteur au silicium.

La mesure du ^{90}Sr n'est effectuée que si la valeur en ^{137}Cs est supérieure à 1 Bq.kg^{-1} . Dans ce cas, le dosage du ^{90}Sr est alors réalisé par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium-90 (^{90}Y) sur compteur proportionnel bas bruit.

2.4.2.1 Radioactivité d'origine naturelle du sable de plage

Le Tableau 10 présente les résultats obtenus en potassium-40 (^{40}K), plomb-210 (^{210}Pb), radium-226 (^{226}Ra - par mesure du plomb 214), du thorium-232 (^{232}Th - par mesure de l'actinium-228), de l'uranium-235 (^{235}U) et de l'uranium-238 (^{238}U - par mesure du thorium-234) pour le sable de plage prélevé à Moruroa.

Tableau 10. Activité massique en radionucléides d'origine naturelle dans le sable de plage de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	^{40}K	^{210}Pb	^{226}Ra (^{214}Pb)	^{232}Th (^{228}Ac)	^{235}U	^{238}U (^{234}Th)
Plage entre Martine et Anémone	$3,53 \pm 0,85$	$8,1 \pm 1,9$	$\leq 0,57$	$\leq 0,46$	$1,38 \pm 0,14$	$23,5 \pm 2,7$

La Figure 11 présente le suivi de l'activité massique de ces radionucléides à Moruroa depuis 2005.

Les valeurs en ^{232}Th se situent sous la limite de détection des appareils de mesure et cela depuis 2007.

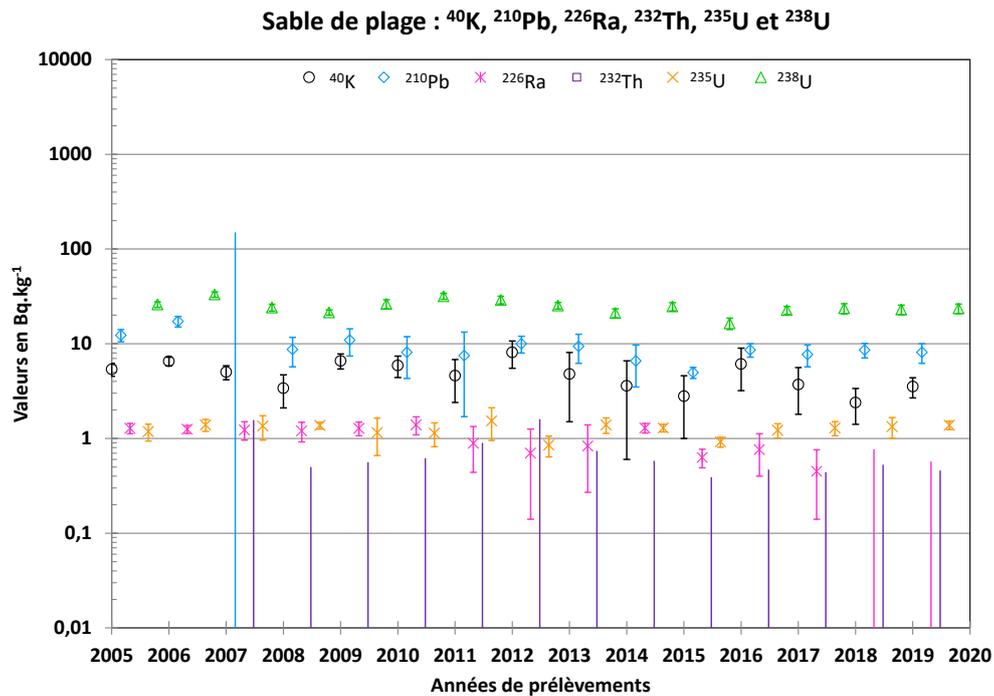


Figure 11. Suivi de l'activité massique d'origine naturelle du sable de plage prélevé à Moruroa depuis 2005. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Le suivi annuel depuis 2005 montre que les activités des radionucléides d'origine naturelle varient peu d'une année sur l'autre.

2.4.2.2 Radioactivité d'origine artificielle du sable de plage

Le Tableau 11 présente les résultats obtenus en cobalt-60 (^{60}Co), en césium-137 (^{137}Cs), en europium-155 (^{155}Eu), en plutonium-238 (^{238}Pu), en plutonium-239 + 240 ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) et en américium-241 (^{241}Am) pour le sable de plage prélevé à Moruroa. La valeur en ^{137}Cs étant inférieure à 1 Bq.kg^{-1} , l'activité en ^{90}Sr n'a pas été mesurée conformément au guide de surveillance radiologique 2013.

Tableau 11. Activité massique en radionucléides d'origine artificielle dans le sable de plage de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	^{60}Co	^{137}Cs	^{155}Eu	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	^{241}Am
Plage entre Martine et Anémone	$\leq 0,18$	$\leq 0,12$	$\leq 0,37$	$2,63 \pm 0,21$	$16,52 \pm 0,76$	$0,489 \pm 0,068$

La Figure 12 présente le suivi de l'activité massique de ces radionucléides à Moruroa depuis 2005.

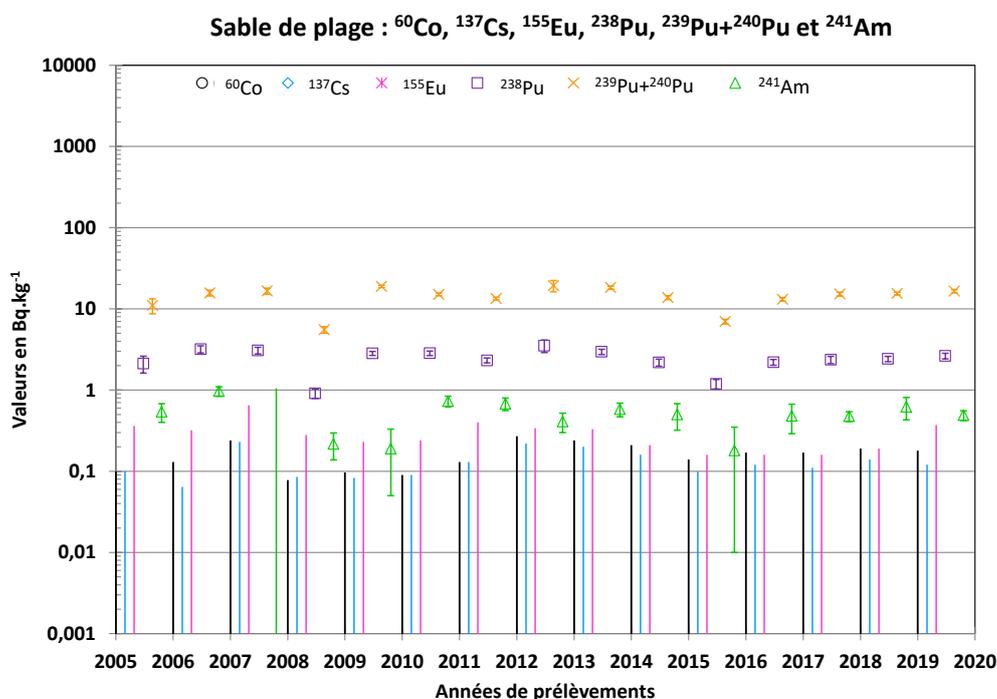


Figure 12. Suivi de l'activité massique d'origine artificielle du sable de plage prélevé à Moruroa depuis 2005. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Depuis 2005, les valeurs en ^{60}Co , ^{137}Cs et ^{155}Eu sont sous la limite de détection des appareils de mesure.

Comme pour les radionucléides naturels, le suivi annuel depuis 2005 montre que les radionucléides artificiels à vie longue varient peu d'une année sur l'autre.

3 LA SURVEILLANCE DU MILIEU TERRESTRE

La surveillance du milieu terrestre comprend :

- la surveillance des sols,
- la surveillance des noix de coco.

La localisation des différents types de prélèvements est présentée dans la Figure 13 pour l'atoll de Moruroa et dans la Figure 14 pour l'atoll de Fangataufa.

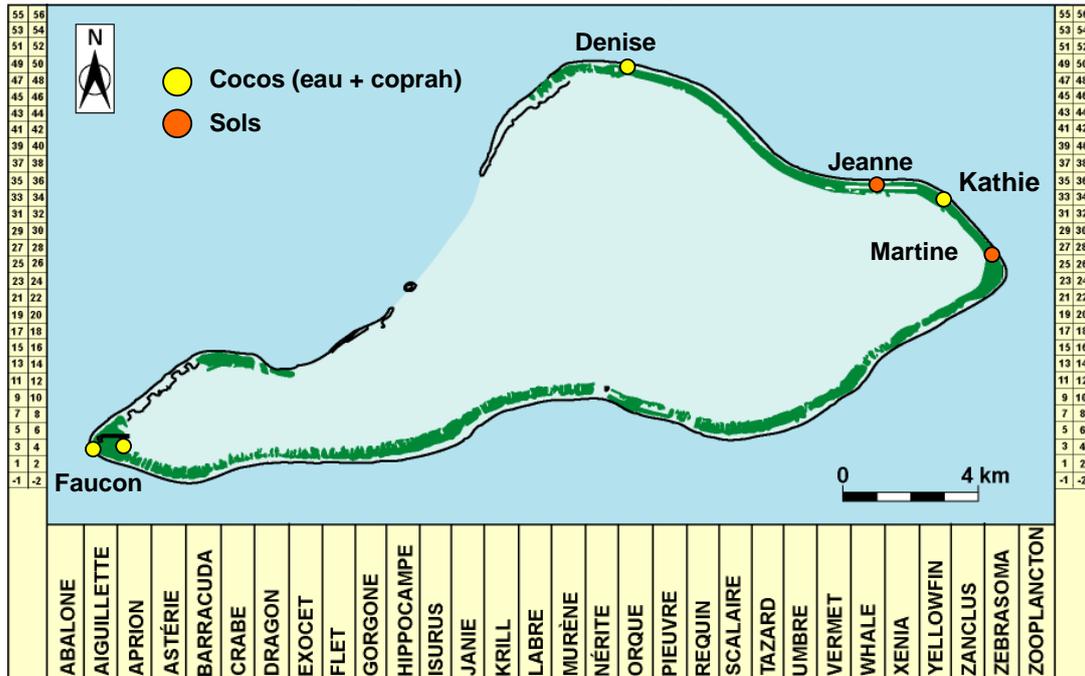


Figure 13. Emplacements des points de surveillance du milieu terrestre à Moruroa.

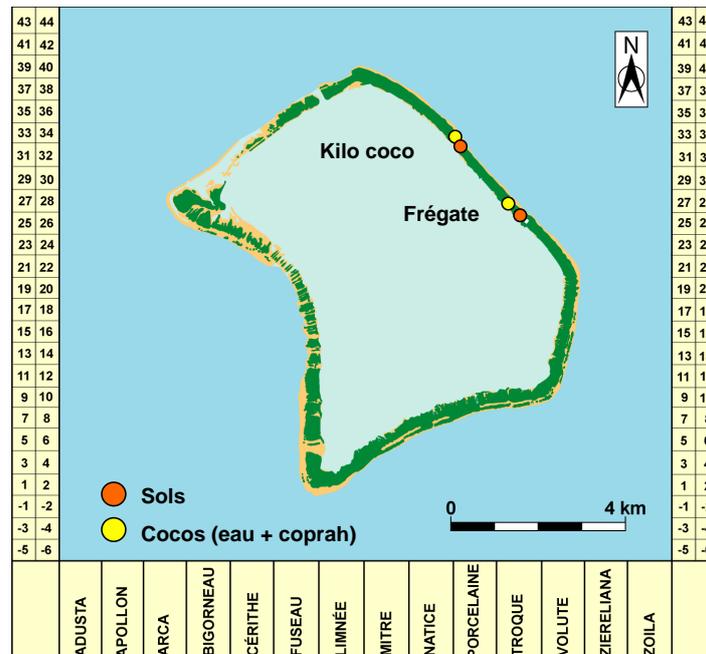


Figure 14. Emplacements des points de surveillance du milieu terrestre à Fangataufa.

3.1 Les sols

La surveillance est réalisée à partir de l'analyse de prélèvements de sols de surface effectués sur les motus des atolls de Moruroa et de Fangataufa selon les indications du guide 2013.

3.1.1 Les prélèvements de sols

Les prélèvements de sols sont prévus tous les ans sur deux emplacements à Moruroa : en zone Jeanne (zone aéroportuaire - Figure 13) et en zone Martine (zone vie - Figure 13) et également sur deux emplacements à Fangataufa : en zone Kilo coco et en zone Frégate (Figure 14).

Les prélèvements sont effectués sur une épaisseur de sol d'environ 5 cm de profondeur (Figure 15).



Figure 15. Prélèvement de sol à Fangataufa.

Les coordonnées des points de prélèvements à Moruroa et à Fangataufa sont présentées dans le Tableau 12.

Tableau 12. Caractéristiques des prélèvements de sols à Moruroa et Fangataufa.

Localisation		Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa	Jeanne	21/03/2019	21°48,607'	138°49,069'	500 mL
	Martine CASA	21/03/2019	21°49,647'	138°47,054'	500 mL
Fangataufa	Frégate	08/04/2019	22°13,519'	138°42,912'	500 mL
	Kilo coco	08/04/2019	22°12,618'	138°43,761'	500 mL

3.1.2 Résultats des analyses des sols

Les mesures effectuées sont :

- une spectrométrie gamma (γ) sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs et autres émetteurs γ),
- une recherche et une mesure des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu) par spectrométrie alpha (α) sur détecteur semi-conducteur au silicium.

La mesure du plutonium est prévue chaque année à Moruroa (Jeanne et Martine CASA) et à Fangataufa uniquement en Kilo coco. En Frégate, cette analyse est prévue tous les quatre ans.

La mesure du ^{90}Sr n'est effectuée que si la valeur en ^{137}Cs est supérieure à 1 Bq.kg^{-1} . Dans ce cas, le dosage du ^{90}Sr est alors réalisé par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium-90 (^{90}Y) sur compteur proportionnel bas bruit. Il est à noter que de 2007 à 2010, aucun prélèvement de sol n'a été effectué sur les deux atolls, la périodicité des prélèvements de sol était alors quadriennale selon les préconisations du guide de surveillance radiologique jusqu'en 2012.

3.1.2.1 Radioactivité d'origine naturelle dans les sols à Moruroa

Le Tableau 13 présente les résultats obtenus en ^{40}K , en ^{210}Pb , en ^{226}Ra (par la mesure du plomb 214), en ^{232}Th (par la mesure de l'actinium 228), en ^{235}U et en ^{238}U (par la mesure du thorium 234) pour les prélèvements de sols de Moruroa.

Tableau 13. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sols de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	^{40}K	^{210}Pb	^{226}Ra (^{214}Pb)	^{232}Th (^{228}Ac)	^{235}U	^{238}U (^{234}Th)
Jeanne	$14,1 \pm 1,5$	$10,9 \pm 2,4$	$2,15 \pm 0,30$	$\leq 0,48$	$0,89 \pm 0,15$	$20,0 \pm 1,4$
Martine CASA	$9,35 \pm 0,95$	$5,57 \pm 0,64$	$2,53 \pm 0,24$	$0,97 \pm 0,15$	$1,03 \pm 0,13$	$20,1 \pm 2,5$

La Figure 16 présente l'activité massique des radionucléides naturels mesurés dans les sols de Moruroa pour les prélèvements 2019.

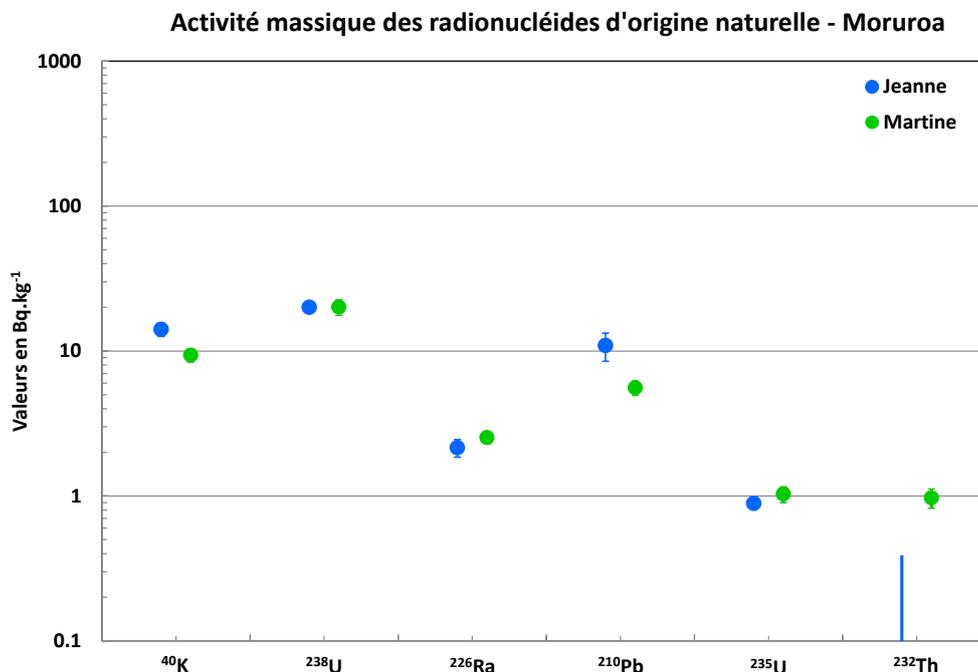


Figure 16. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sols de Moruroa en 2019.

Le niveau d'activité massique du ^{232}Th au point de prélèvements Jeanne CASA est inférieur à la limite de détection des appareils de mesure en 2019 et cela depuis 2006.

La Figure 17 présente le suivi annuel de l'activité massique depuis 2011 pour ces mêmes radionucléides dans les sols de Moruroa. Il est à noter que les zones de prélèvements des sols ont évolué dans le temps, conformément au guide de surveillance radiologique 2013 :

- avant 2012, huit sols étaient prélevés et analysés tous les 4 ans : Anémone, Denise, Dindon, Faucon, Simone, Tacan, Viviane et Zoé,
- depuis 2012, les prélèvements sont effectués annuellement en zones Jeanne et Martine CASA.

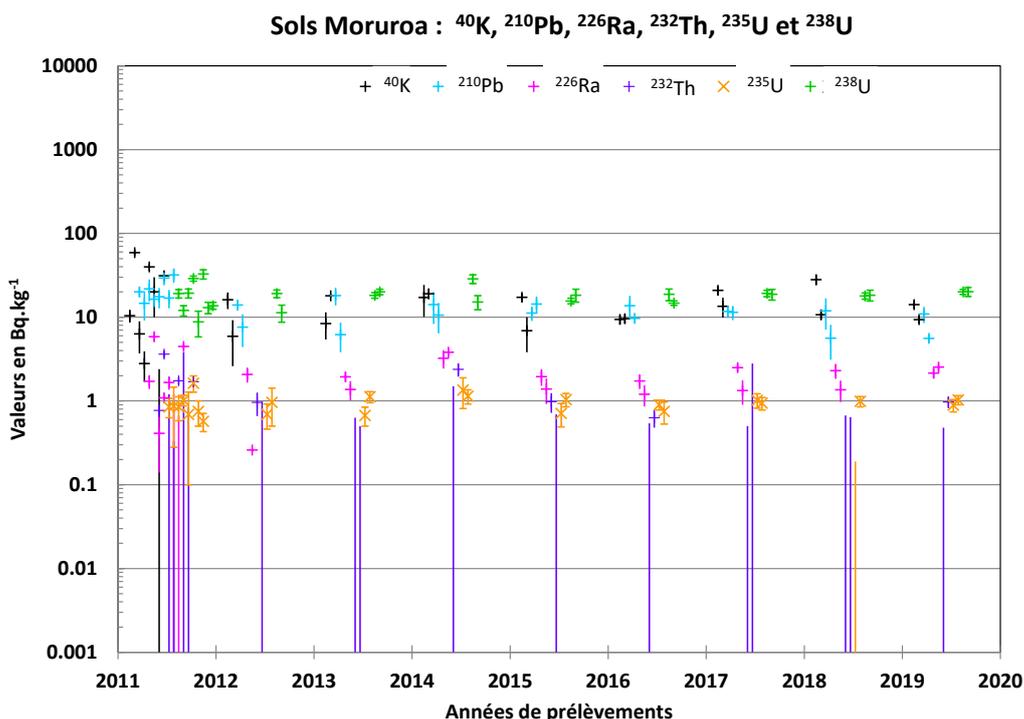


Figure 17. Suivi de l'activité massique d'origine naturelle dans les sols de Moruroa depuis 2011.

Le suivi annuel de l'activité massique des radionucléides d'origine naturelle montre que depuis 2011, les niveaux d'activités massiques sont homogènes dans le temps.

3.1.2.2 Radioactivité d'origine artificielle dans les sols à Moruroa

Le Tableau 14 présente les résultats obtenus en ^{60}Co , en ^{137}Cs , en ^{155}Eu , en ^{238}Pu , en ^{239}Pu + ^{240}Pu et en ^{241}Am pour les deux sols prélevés à Moruroa. La valeur en ^{137}Cs étant inférieure à 1 Bq.kg^{-1} , l'activité en ^{90}Sr n'a pas été mesurée conformément au guide de surveillance radiologique 2013.

Tableau 14. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sols de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

Localisation	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	¹⁵⁵ Eu	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am
Jeanne	≤ 0,16	0,170 ± 0,110	≤ 0,16	6,8 ± 2,4	1541 ± 69	31,5 ± 2,2
Martine CASA	≤ 0,12	≤ 0,082	≤ 0,15	0,045 ± 0,022	1,37 ± 0,11	≤ 0,088

La Figure 18 présente l'activité massique des principaux radionucléides artificiels mesurés dans les sols de Moruroa en 2019.

La variation des résultats de la radioactivité artificielle des sols reflète la nature très hétérogène de la dispersion de la radioactivité artificielle dans le sol. En zone Martine, ces résultats traduisent les faibles retombées des essais atmosphériques et en Jeanne, l'apport en 1987 d'agrégats de très faible activité, issus du tri des résidus des travaux d'assainissement menés en zone Nord.

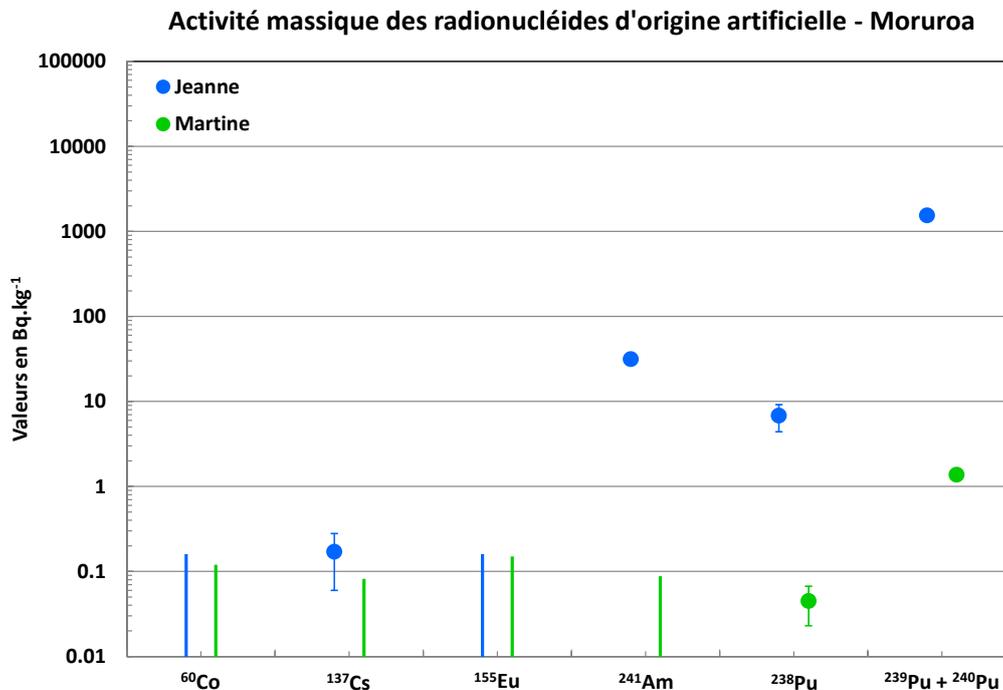


Figure 18. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle des sols de Moruroa en 2019.

Les activités mesurées en 2019 en ⁶⁰Co, en ¹⁵⁵Eu et en ¹³⁷Cs en zones Jeanne et Martine CASA sont faibles ou inférieures aux limites de détection des appareils de mesure.

La Figure 19 présente le suivi annuel de l'activité massique depuis 2011 pour ces mêmes radionucléides d'origine artificielle dans les deux sols de Moruroa.

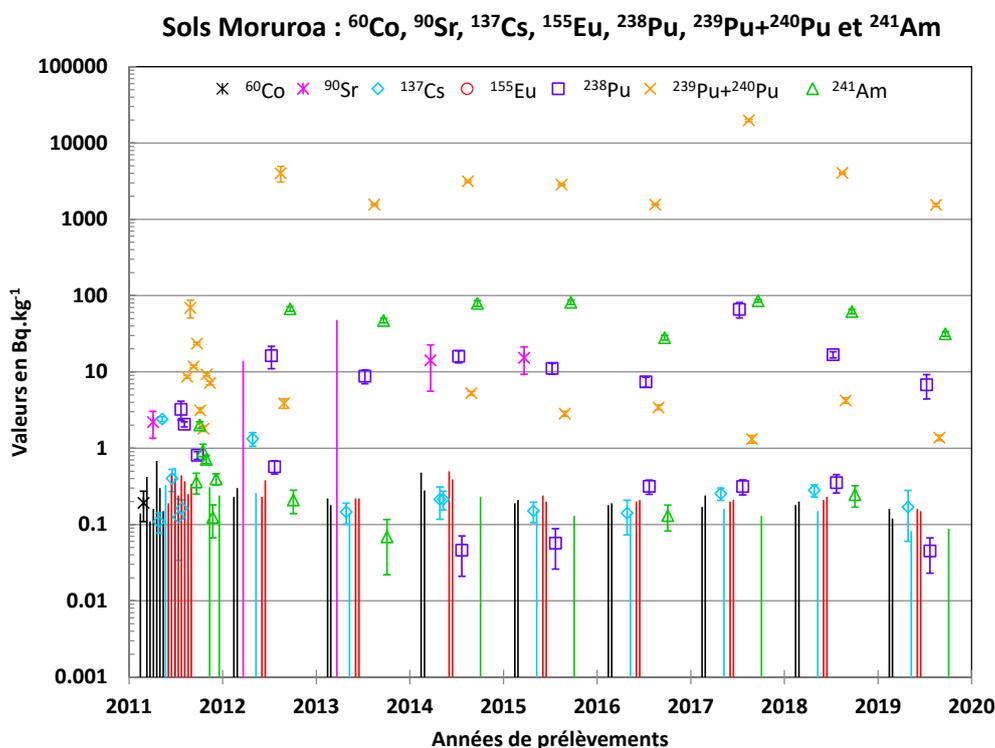


Figure 19. Suivi de l'activité massique d'origine artificielle dans les sols de Moruroa depuis 2006.

Le suivi annuel depuis 2011 montre :

- les faibles activités ou la quasi-absence de ^{60}Co , ^{155}Eu et ^{137}Cs sur les sols de Moruroa (en Jeanne et Martine CASA),
- des différences de niveau d'activité en ^{238}Pu , $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ et ^{241}Am à partir de 2012 qui s'expliquent par le remplacement de la zone de prélèvements Tacan par celle de Jeanne,
- l'hétérogénéité des activités mesurées en ^{238}Pu , $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ et ^{241}Am sur les différents sols à Moruroa avec une distinction nette entre les activités mesurées entre le prélèvement en Martine CASA et celui en Jeanne, où les activités massiques de ces radionucléides sont plus fortes. La grande variabilité des valeurs d'activités mesurées dans le sol de Jeanne s'explique par la distribution très hétérogène des radionucléides dans les terres de faible radioactivité rapportées en bordure proche de la zone aéroportuaire comme expliqué en page précédente.

3.1.2.3 Radioactivité d'origine naturelle dans les sols à Fangataufa

Le Tableau 15 présente les résultats obtenus en ^{40}K , en ^{210}Pb , en ^{226}Ra (par la mesure du plomb 214), en ^{232}Th (par la mesure de l'actinium 228), en ^{235}U et en ^{238}U (par la mesure du thorium 234) pour les prélèvements de sols de Fangataufa.

Tableau 15. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sols de Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	^{40}K	^{210}Pb	^{226}Ra (^{214}Pb)	^{232}Th (^{228}Ac)	^{235}U	^{238}U (^{234}Th)
Frégate	$5,1 \pm 1,5$	$56,4 \pm 5,8$	$0,39 \pm 0,15$	$\leq 0,70$	$1,17 \pm 0,15$	$23,7 \pm 2,6$
Kilo coco	$4,7 \pm 1,5$	$16,7 \pm 1,7$	$1,10 \pm 0,15$	$\leq 0,48$	$0,850 \pm 0,091$	$17,4 \pm 1,8$

La Figure 20 présente l'activité massique des principaux radionucléides naturels détectés dans les sols à Fangataufa pour les prélèvements 2019.

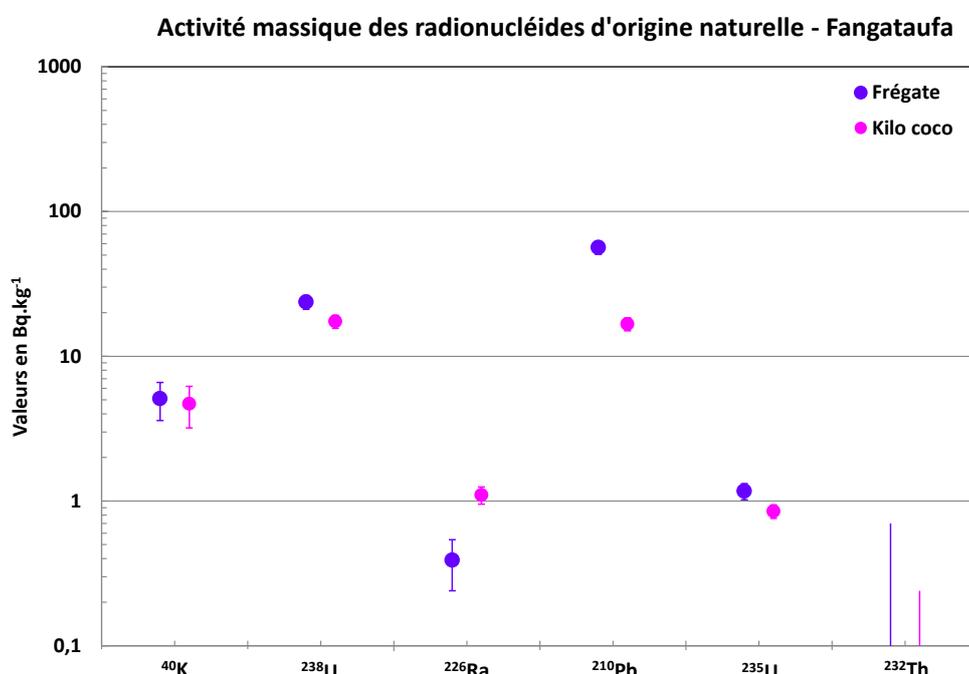


Figure 20. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle des sols de Fangataufa en 2019.

Les niveaux d'activité massique du ^{232}Th aux points de prélèvements Frégate et Kilo coco sont inférieurs à la limite de détection des appareils de mesure en 2019, et cela depuis 2006.

Les niveaux d'activités massiques en ^{40}K , en ^{226}Ra , en ^{210}Pb , en ^{235}U et en ^{238}U sont du même ordre de grandeur pour les deux points de prélèvements et comparables à ceux des sols de Moruroa (Figure 16 et Figure 20) à l'exception d'une activité plus forte en ^{210}Pb dans le sol de Frégate.

La Figure 21 présente le suivi annuel de l'activité massique depuis 2011 pour ces mêmes radionucléides dans les sols de Fangataufa. Il est à noter que les points de prélèvements des sols ont évolué dans le temps, conformément au guide de surveillance radiologique 2013 :

- en 2011, sept sols étaient prélevés et analysés : Empereur, Fox, Kilo, Echo, Pavillon, Terme sud et Kilo coco,
- depuis 2012, les prélèvements sont effectués en zones Frégate et Kilo coco.

En 2016, les prélèvements de sols à Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

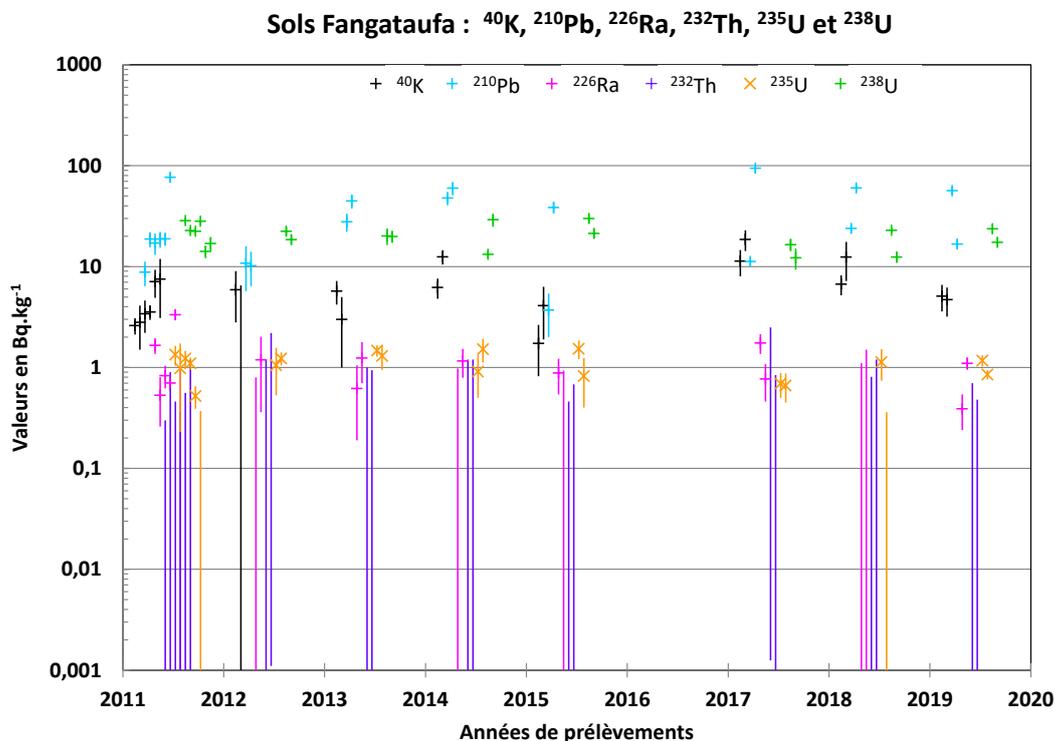


Figure 21. Suivi de l'activité massique d'origine naturelle dans les sols de Fangataufa depuis 2011.

Le suivi annuel de l'activité massique des radionucléides d'origine naturelle montre que depuis 2011 les niveaux d'activités massiques sont globalement homogènes dans le temps.

3.1.2.4 Radioactivité d'origine artificielle dans les sols à Fangataufa

Le Tableau 16 présente les résultats obtenus en ^{60}Co , en ^{137}Cs , en ^{155}Eu , en ^{238}Pu , en ^{239}Pu + ^{240}Pu et en ^{241}Am pour les deux sols prélevés à Fangataufa. La valeur en ^{137}Cs étant inférieure à 1 Bq.kg^{-1} , l'activité en ^{90}Sr n'a pas été mesurée conformément au guide de surveillance radiologique 2013.

Tableau 16. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sols de Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

Localisation	⁶⁰ Co	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	¹⁵⁵ Eu	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am
Frégate	≤ 0,23		≤ 0,16	≤ 0,74			0,37 ± 0,19
Kilo coco	3,91 ± 0,39	404 ± 52	107,6 ± 6,8	2,84 ± 0,63	489 ± 37	1519 ± 87	88,4 ± 5,8

La Figure 22 présente l'activité massique des principaux radionucléides artificiels mesurés dans les sols de Fangataufa en 2019.

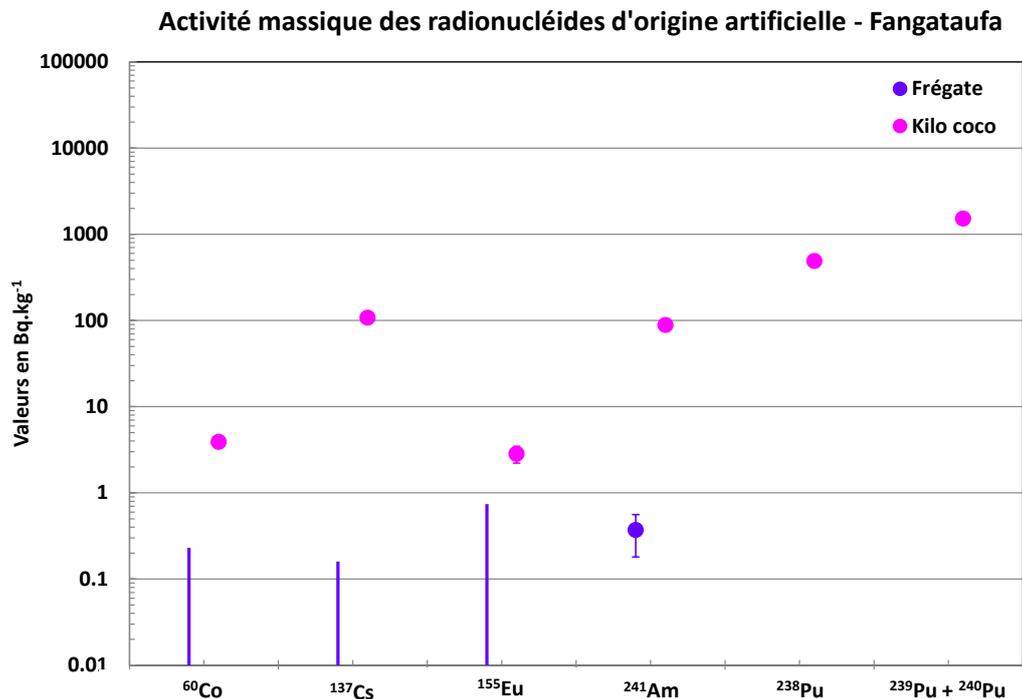


Figure 22. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle des sols de Fangataufa en 2019.

En Frégate, les activités massiques mesurées en ⁶⁰Co, en ¹³⁷Cs et en ¹⁵⁵Eu sont inférieures aux limites de détection des appareils de mesure en 2019 et l'activité massique en ²⁴¹Am est très faible et proche des limites de détection des appareils de mesure.

En revanche, en zone Kilo coco, les activités massiques de ces mêmes radionucléides sont mesurables.

Les activités des radionucléides ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu et ²⁴¹Am sont significatives au niveau du point de prélèvement Kilo coco, elles s'expliquent par le marquage connu du sol de cette zone.

La Figure 23 présente le suivi annuel de l'activité massique depuis 2011 pour ces mêmes radionucléides d'origine artificielle dans les deux sols de Fangataufa.

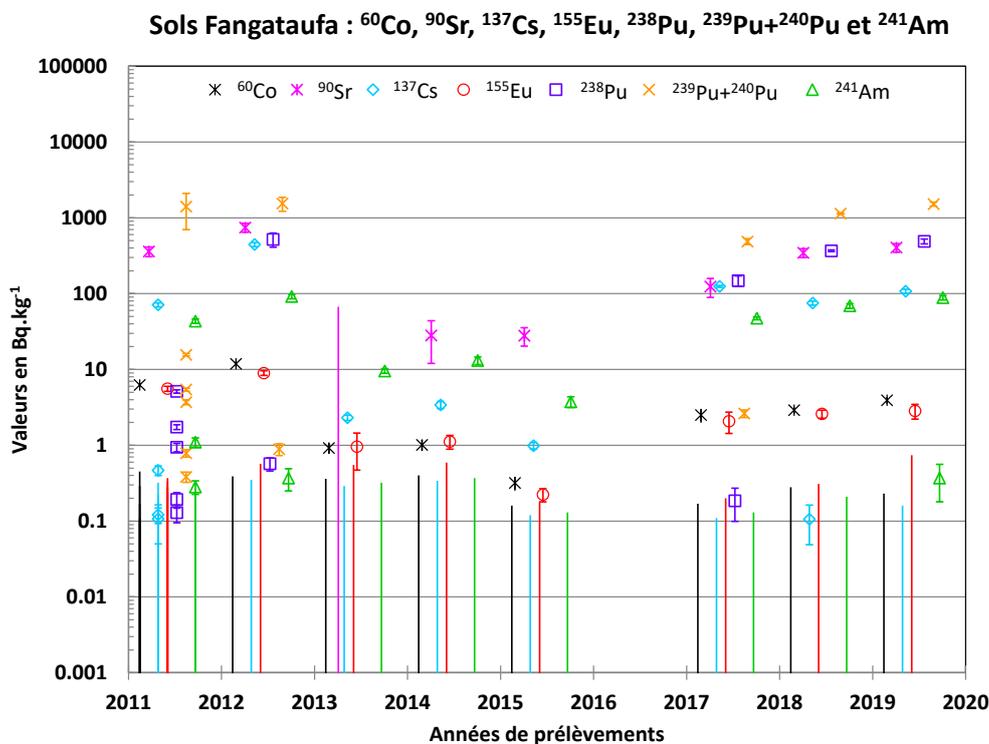


Figure 23. Suivi de l'activité massique d'origine artificielle dans les sols de Fangataufa depuis 2011.

Le suivi annuel depuis 2011 montre :

- les faibles activités massiques mesurées en ^{60}Co , en ^{137}Cs et ^{155}Eu qui sont inférieures aux limites de détection des appareils de mesure en Frégate en 2019,
- l'hétérogénéité des activités mesurées en ces différents radionucléides et particulièrement en ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ et ^{241}Am sur les différents sols de Fangataufa avec une distinction nette entre les activités mesurées en Frégate et Kilo coco où les activités massiques en ces radionucléides sont plus fortes, en raison du marquage connu du sol de la zone Kilo coco,

3.2 Les noix de coco

La noix de coco (*coco nucifera*) est le seul fruit consommable trouvé en abondance sur les atolls. Elle est largement consommée dans l'ensemble de la Polynésie française. L'eau de coco et le coprah (pulpe de coco) sont analysés.

L'eau de coco est contenue dans les noix jeunes, vertes (stade « via-via »). Sa pureté et son abondance en font le complément alimentaire indispensable à l'eau douce des atolls.

Le coprah ou pulpe de noix de coco est contenu dans les noix plus âgées (stade « opaa »). Il est utilisé sous forme de « lait » ou de « râpé » fermenté pour entrer dans la composition de nombreux plats polynésiens. L'industrie en extrait une huile à usage alimentaire ou chimique. Le tourteau, coprah broyé, est utilisé en Polynésie pour l'alimentation du bétail.

3.2.1 Les prélèvements de noix de coco

Les noix de coco « vertes » sont cueillies sur l'arbre, puis décalottées à leur partie supérieure afin d'en récolter l'eau (Figure 24). Il faut recueillir dix litres d'eau de coco pour effectuer les mesures.

Les noix de coco mûres (de couleur grise ou marron) sont ramassées au sol. Après ouverture des noix, le coprah, partie blanche qui tapisse le cœur du fruit, est détaché à l'aide d'une spatule (Figure 24). Il faut quatre kilogrammes de coprah pour effectuer une mesure.



Figure 24. Prélèvement de l'eau de coco et du coprah.

La localisation et les coordonnées des points de prélèvements sont présentées dans la Figure 13 et Figure 14, pour les atolls de Moruroa et Fangataufa respectivement et dans le Tableau 17.

Tableau 17. Caractéristiques des prélèvements d'eau de coco et de coprah à Moruroa et Fangataufa.

Localisation		Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées	
					Eau de coco	Coprah
Moruroa	Zone Est Kathie	19/03/2019	21°50,290'	138°47,291'	10 L	4500 g
	Zone Nord Denise	19/03/2019	21°46,797'	138°53,325'	10 L	4800 g
	Zone Ouest Faucon	27/03/2019	21°52,822'	139°02,443'	10 L	4000 g
Fangataufa	Frégate	08/04/2019	22°13,798'	138°42,586'	10 L	5950 g
	Kilo coco	08/04/2019	22°12,622'	138°43,764'	10 L	5750 g

3.2.2 Résultats des analyses des noix de coco

Les échantillons sont calcinés et les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma (γ). Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium 90 et des isotopes du plutonium.

La radioactivité de la noix de coco peut fluctuer de façon notable suivant la nature du sol, le stade de maturité du fruit et son hydratation, induisant une dispersion dans les valeurs mesurées.

Le suivi radiologique de la noix de coco a été réalisé suivant les zones de présence de cocotiers sur Moruroa et Fangataufa. Au cours des années, certaines cocoteraies ont disparu faute d'entretien ou ont été étouffées par les aïtos (« arbre de fer » ou filao) par exemple la zone Sud en 2011. D'autres cocoteraies ont été plantées pour continuer à en assurer le suivi, par exemple en zone Nord de Moruroa.

A Fangataufa, en raison de la densification des aïtos et du peu de cocotiers actuellement encore productifs, les prélèvements de noix de coco risquent de devenir difficiles dans les prochaines années.

Les zones actuelles de prélèvement sont définies dans le guide de surveillance radiologique 2013.

Le potassium-40 (^{40}K) est le seul radionucléide naturel recherché dans ces échantillons.

3.2.3 Résultats des analyses du coprah

Le Tableau 18 regroupe les résultats des analyses effectuées sur les prélèvements de coprah (activités d'origines naturelle et artificielle).

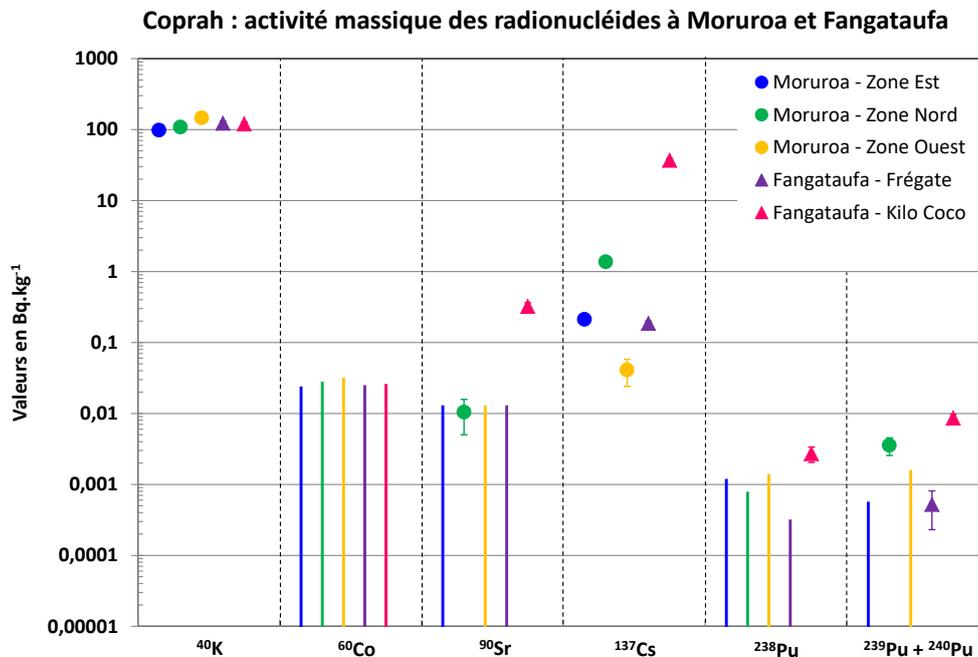
Tableau 18. Activité massique des radionucléides dans le coprah prélevé à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

Localisation		Radionucléides d'origine					
		Naturelle	Artificielle				
		⁴⁰ K	⁶⁰ Co	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
Moruroa	Zone Est	97,8 ± 8,1	≤ 0,024	≤ 0,013	0,212 ± 0,029	≤ 12.10 ⁻⁴	≤ 5,7.10 ⁻⁴
	Zone Nord	108,1 ± 8,9	≤ 0,028	0,0104 ± 0,0054	1,37 ± 0,11	≤ 7,9.10 ⁻⁴	(35,4 ± 9,8) .10 ⁻⁴
	Zone Ouest	146 ± 11	≤ 0,032	≤ 0,013	0,041 ± 0,017	≤ 14.10 ⁻⁴	≤ 16.10 ⁻⁴
Fangataufa	Frégate	122,5 ± 8,8	≤ 0,025	≤ 0,013	0,186 ± 0,014	≤ 3,2.10 ⁻⁴	(5,2 ± 2,9).10 ⁻⁴
	Kilo coco	119,2 ± 8,4	≤ 0,026	0,322 ± 0,043	36,8 ± 2,4	(27,0 ± 6,5).10 ⁻⁴	(86 ± 11).10 ⁻⁴

Les mesures en ⁶⁰Co du coprah sont systématiquement sous la limite de détection des appareils de mesure.

La Figure 25 présente le résultat des activités massiques d'origine naturelle et artificielle sur les prélèvements de coprah en 2019 à Moruroa et Fangataufa.

En 2019, dans le coprah, sur tous les sites de prélèvements, les activités massiques en ¹³⁷Cs restent encore détectables. À Moruroa, le ⁹⁰Sr et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu restent sous les limites de détection ou proches des limites de détection des appareils de mesure. A Fangataufa, dans la zone Kilo coco, les activités massiques en ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu s'expliquent par le marquage connu du sol.



3.2.3.1 Radioactivité d'origine naturelle du coprah

La Figure 26 présente le suivi de l'activité massique en ^{40}K du coprah à Moruroa et à Fangataufa depuis 1997. En 2004, 2005 et 2016 les prélèvements sur Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

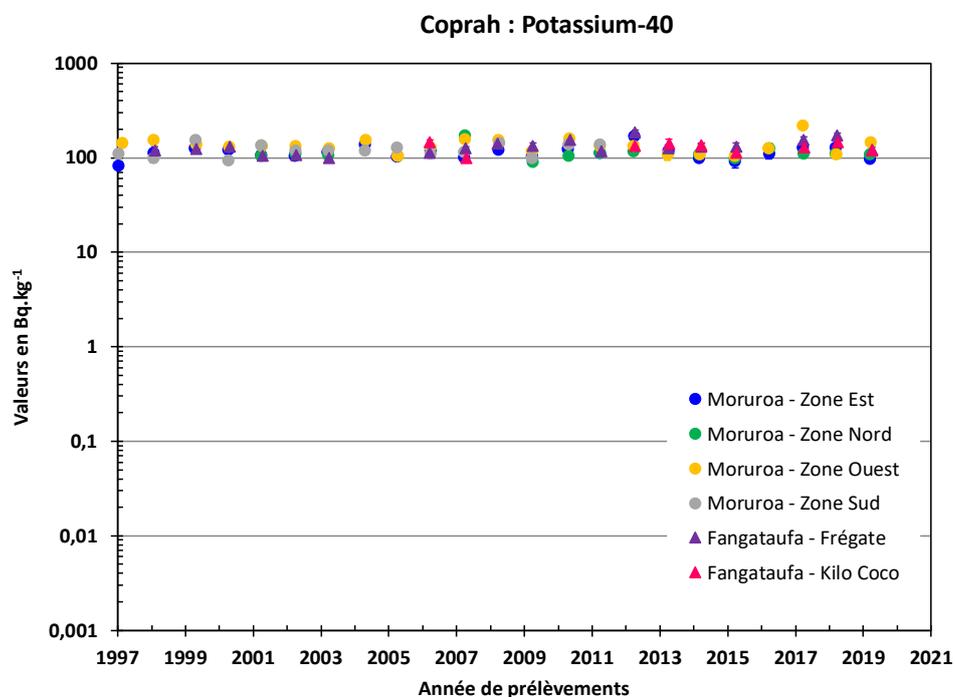


Figure 26. Suivi de l'activité massique du ^{40}K du coprah à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

Le suivi de l'activité massique du ^{40}K montre une stabilité au cours du temps à Moruroa et Fangataufa comme attendu.

3.2.3.2 Radioactivité d'origine artificielle du coprah

Les figures suivantes (Figure 27, Figure 28, Figure 29 et Figure 30) présentent le suivi de l'activité massique du coprah à Moruroa et Fangataufa depuis 1997 en ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$, respectivement.

Le suivi de l'activité massique en ^{90}Sr (Figure 27) depuis 1997 montre :

- des activités proches ou inférieures à la limite de détection.
- dans le cas de la zone Kilo coco à Fangataufa, des activités supérieures à la limite de détection en raison du marquage connu du sol.

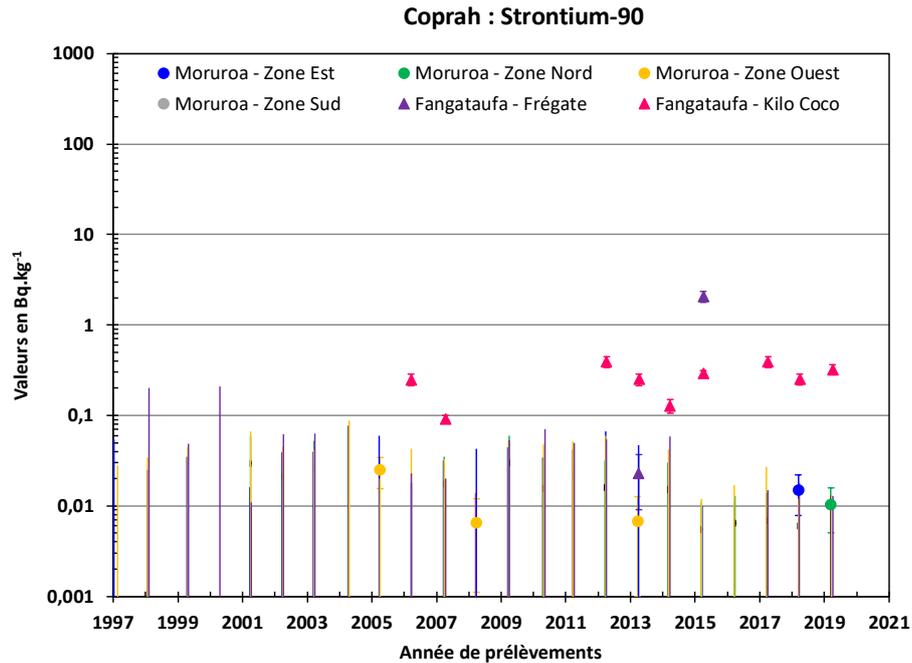


Figure 27. Suivi de l'activité massique du ⁹⁰Sr du coprah à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

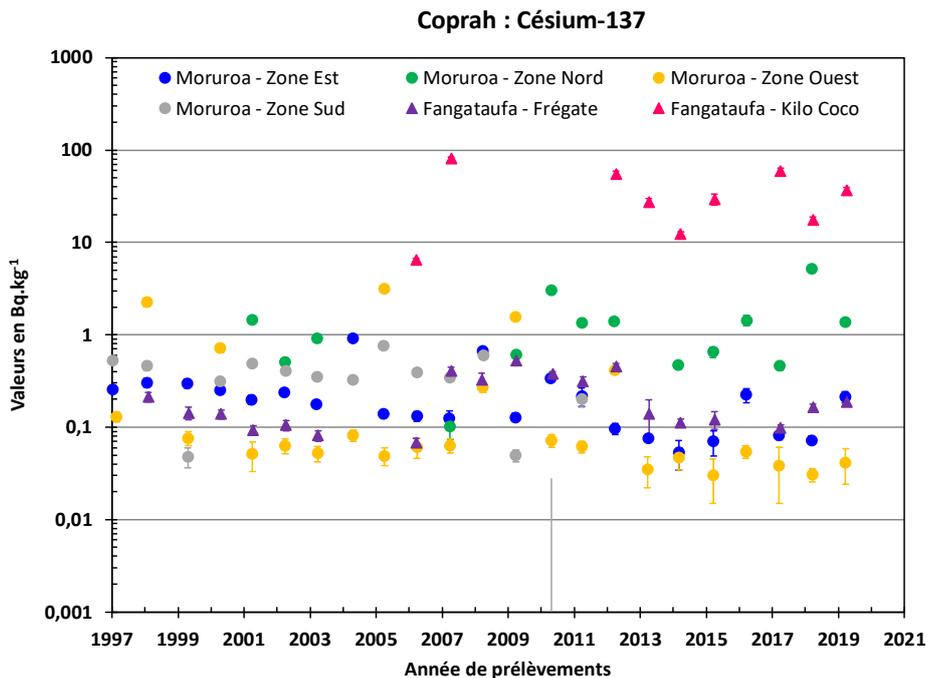


Figure 28. Suivi de l'activité massique du ¹³⁷Cs du coprah à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

Le suivi de l'activité massique en ¹³⁷Cs (Figure 28) depuis 1997 montre :

- des activités supérieures à la limite de détection,
- une plus grande hétérogénéité des résultats,
- dans le cas de la zone Kilo coco à Fangataufa, des activités plus élevées liées au marquage connu des sols de cette zone.

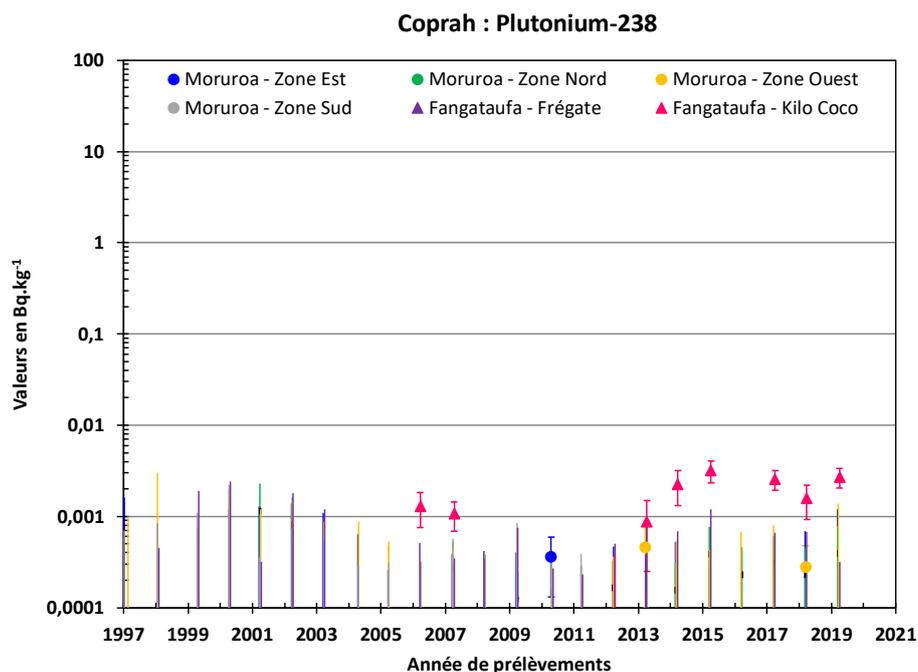


Figure 29. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu du coprah à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

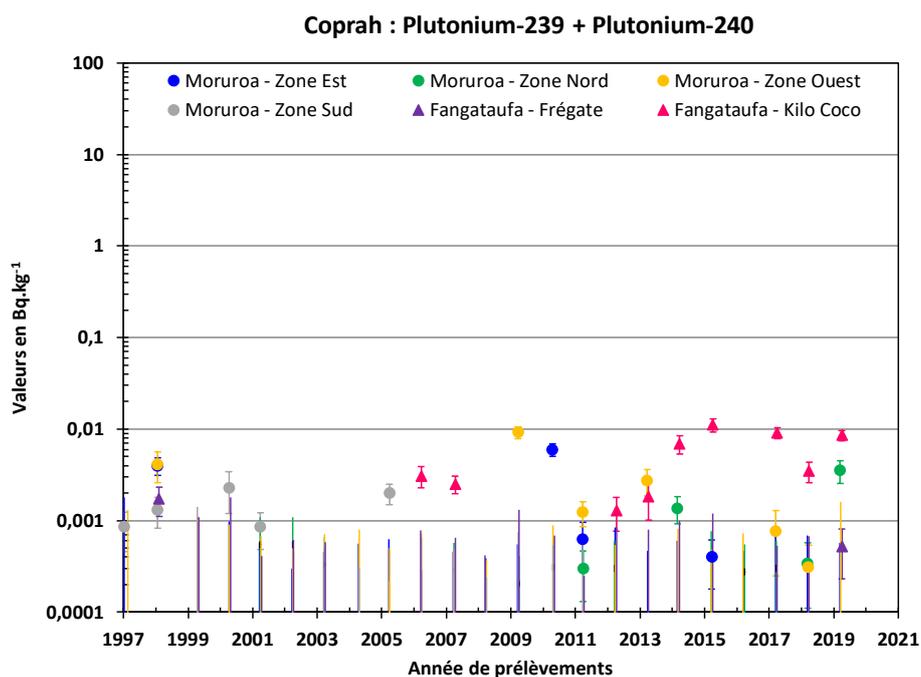


Figure 30. Suivi de l'activité massique du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ du coprah sur les atolls de Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

Le suivi des activités massiques en ^{238}Pu (Figure 29) et en $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ (Figure 30) depuis 1997 montre :

- des activités proches ou inférieures à la limite de détection.
- dans le cas de la zone Kilo coco à Fangataufa, des activités supérieures à la limite de détection liées au marquage connu du sol.

3.2.4 Résultats des analyses de l'eau de coco

Le Tableau 19 regroupe les résultats des analyses effectuées sur les prélèvements d'eau de coco (activités d'origines naturelle et artificielle). Les mesures en ^{60}Co de l'eau de coco sont systématiquement sous la limite de détection des appareils de mesure.

Tableau 19. Activité massique des radionucléides de l'eau de coco prélevée à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Localisation		Radionucléides d'origine					
		Naturelle	Artificielle				
			^{40}K	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs	^{238}Pu
Moruroa	Zone Est	$19,4 \pm 1,7$	$\leq 0,0043$	$\leq 0,0018$	$0,00618 \pm 0,00098$	$\leq 0,95 \cdot 10^{-4}$	$\leq 0,95 \cdot 10^{-4}$
	Zone Nord	$32,6 \pm 2,8$	$\leq 0,0070$	$\leq 0,0034$	$0,561 \pm 0,042$	$\leq 1,7 \cdot 10^{-4}$	$\leq 1,1 \cdot 10^{-4}$
	Zone Ouest	$48,0 \pm 3,9$	$\leq 0,011$	$\leq 0,0054$	$\leq 6,0 \cdot 10^{-3}$	$\leq 2,6 \cdot 10^{-4}$	$\leq 1,8 \cdot 10^{-4}$
Fangataufa	Frégate	$46,9 \pm 3,8$	$\leq 0,011$	$\leq 0,0035$	$0,0352 \pm 0,0033$	$\leq 2,3 \cdot 10^{-4}$	$\leq 2,3 \cdot 10^{-4}$
	Kilo coco	$40,1 \pm 3,3$	$\leq 0,0066$	$0,187 \pm 0,024$	$3,75 \pm 0,27$	$(1,15 \pm 0,74) \cdot 10^{-4}$	$(2,4 \pm 1,1) \cdot 10^{-4}$

La Figure 31 présente les résultats des activités massiques d'origine naturelle et artificielle sur les prélèvements d'eau de coco en 2019 à Moruroa et Fangataufa. En 2019, seules les activités massiques en ^{137}Cs à Moruroa et en Frégate à Fangataufa et en ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ en zone Kilo coco à Fangataufa sont détectées dans l'eau de coco.

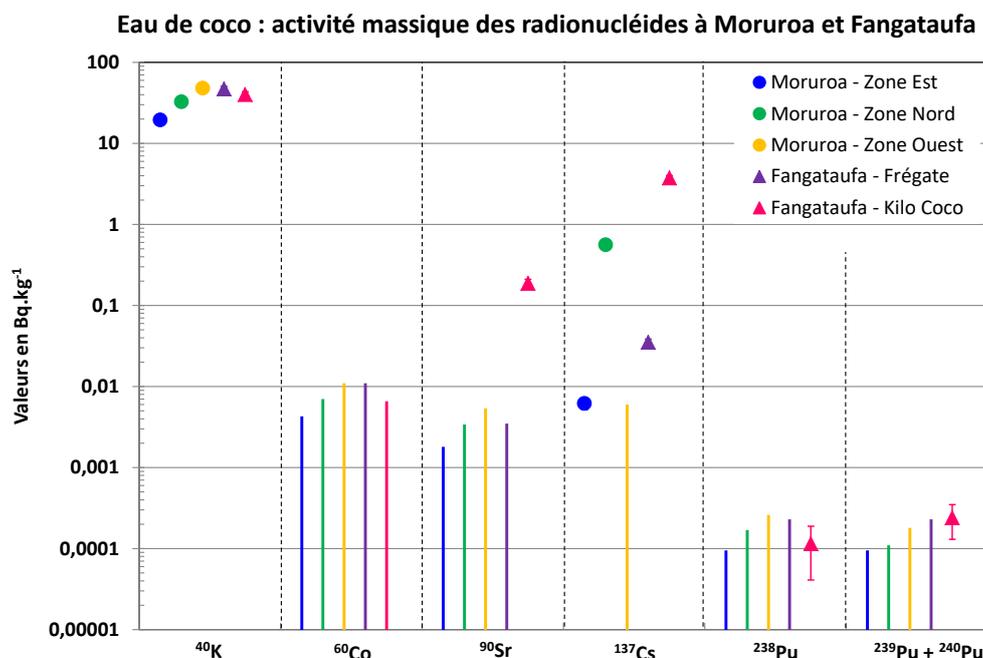


Figure 31. Activité massique de l'eau de coco en 2019.

3.2.4.1 Radioactivité d'origine naturelle de l'eau de coco

La Figure 32 présente le suivi de l'activité massique en ^{40}K de l'eau de coco à Moruroa et à Fangataufa depuis 1997.

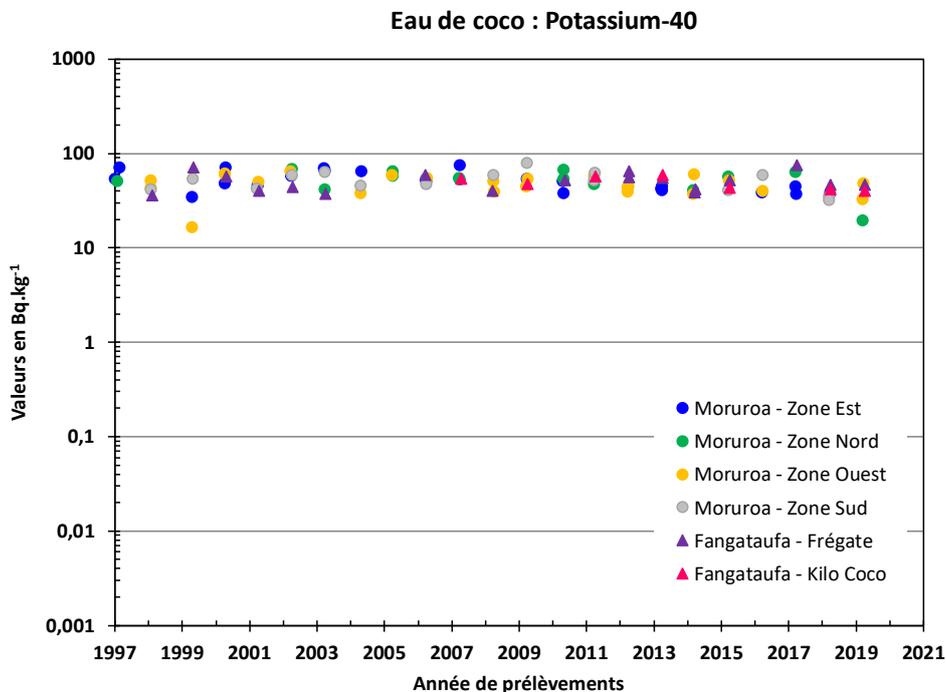


Figure 32. Suivi de l'activité massique du ^{40}K de l'eau de coco à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

Le suivi de l'activité massique du ^{40}K de l'eau de coco montre une stabilité au cours du temps à Moruroa et Fangataufa comme attendu. Cette activité massique est environ trois fois plus faible que celle du coprah.

3.2.4.2 Radioactivité d'origine artificielle de l'eau de coco

Les figures suivantes (Figure 33, Figure 34, Figure 35 et Figure 36) présentent le suivi de l'activité massique de l'eau de coco à Moruroa et Fangataufa depuis 1997 en ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$, respectivement.

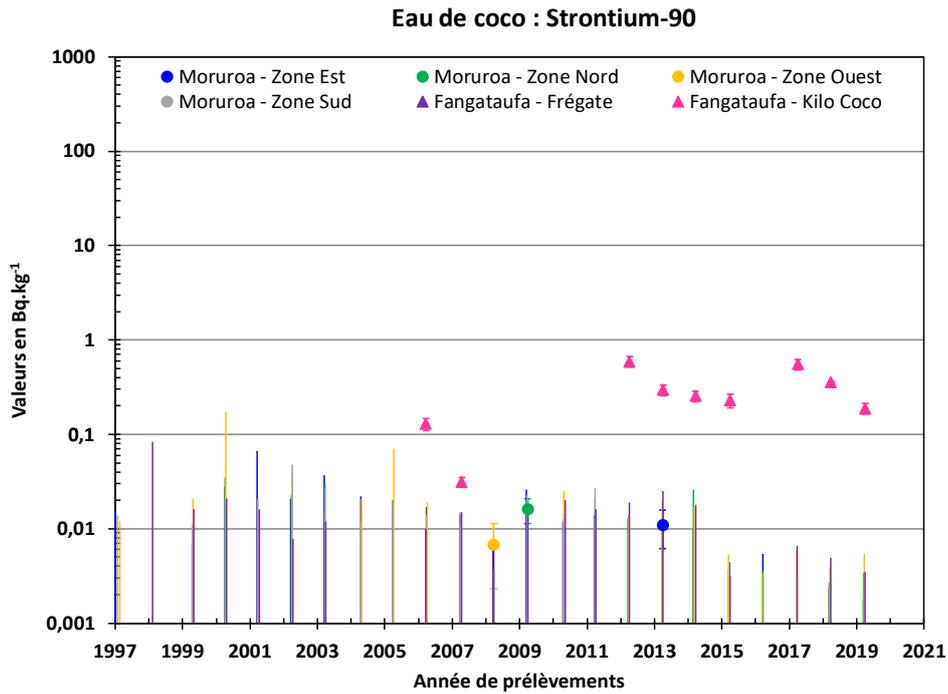


Figure 33. Suivi de l'activité massique du ^{90}Sr de l'eau de coco à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

Le suivi de l'activité massique en ^{90}Sr (Figure 33) depuis 1997 montre :

- des activités proches ou inférieures à la limite de détection,
- dans le cas de Fangataufa, des activités s'écartant de la limite de détection, uniquement en Kilo coco en raison du marquage connu du sol.

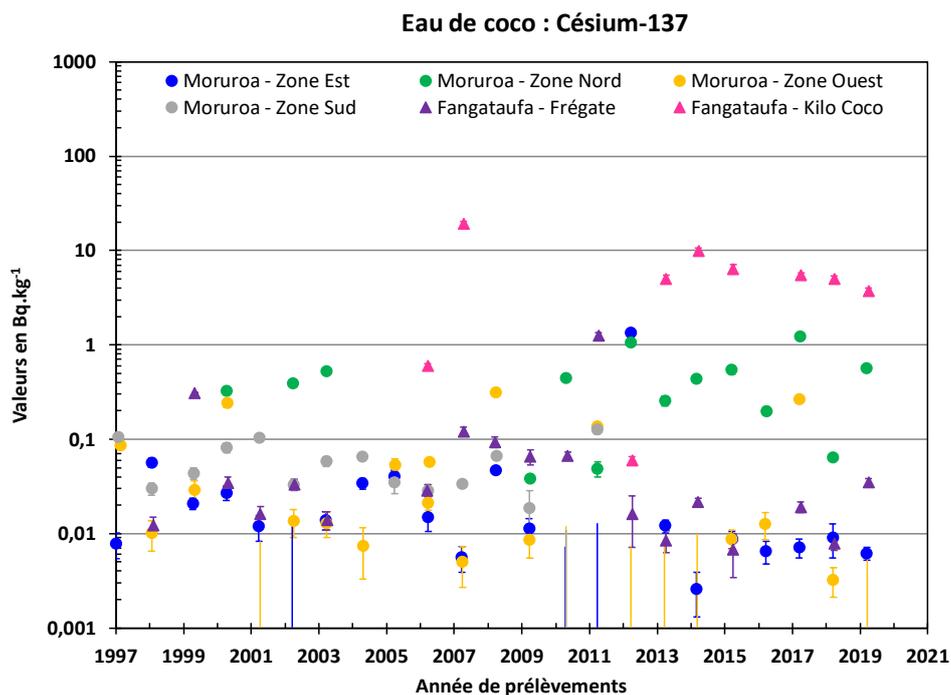


Figure 34. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs de l'eau de coco sur les atolls de Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

Le suivi de l'activité massique en ^{137}Cs (Figure 34) depuis 1997 montre :

- des activités supérieures à la limite de détection,
- une plus grande hétérogénéité des mesures d'activité en ^{137}Cs ,
- dans le cas de Fangataufa, des activités plus élevées liées au marquage connu du sol de la zone de prélèvement Kilo coco.

Le suivi des activités massiques en ^{238}Pu (Figure 35) et en $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ (Figure 36) depuis 1997 montre des activités proches ou inférieures à la limite de détection, même en zone Kilo coco à Fangataufa.

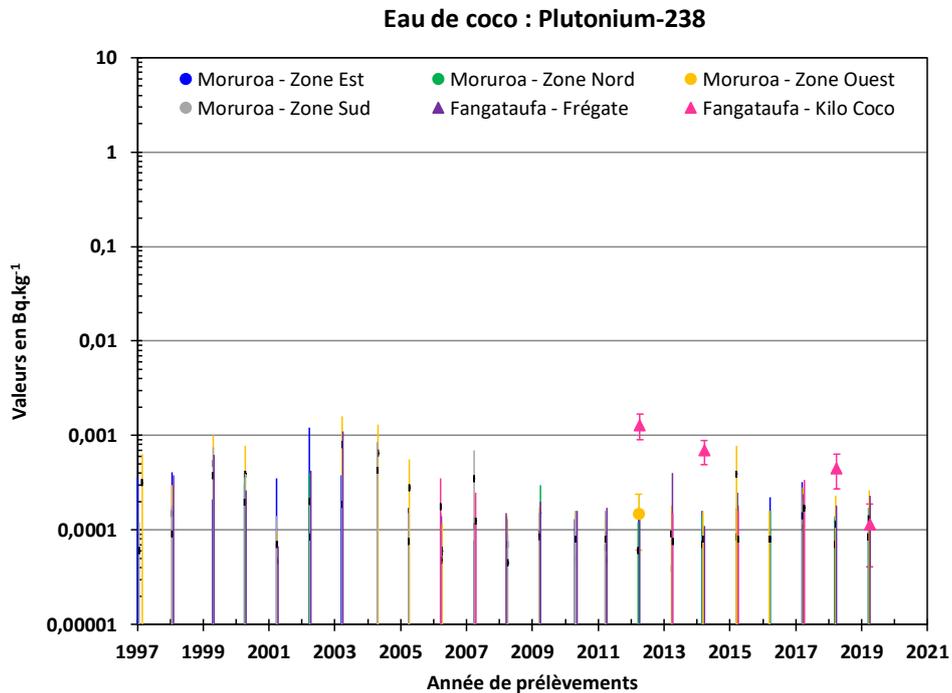


Figure 35. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu de l'eau de coco sur les atolls de Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

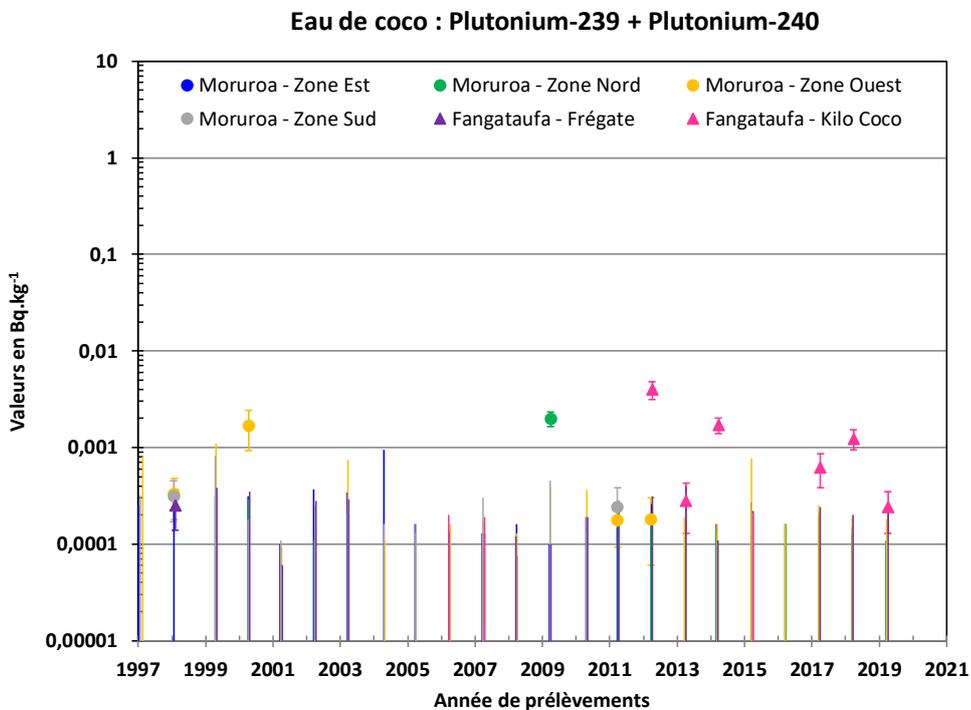


Figure 36. Suivi de l'activité massique du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ de l'eau de coco à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

4 LA SURVEILLANCE DU LAGON

La surveillance des lagons de Moruroa et Fangataufa comprend :

- la surveillance des eaux de lagon,
- la surveillance des sédiments,
- la surveillance du plancton,
- la surveillance du troca,
- la surveillance du poisson chirurgical,
- la surveillance du mэрou.

La localisation des différents types de prélèvements à Moruroa et Fangataufa est présentée respectivement dans les Figure 37 et Figure 38.

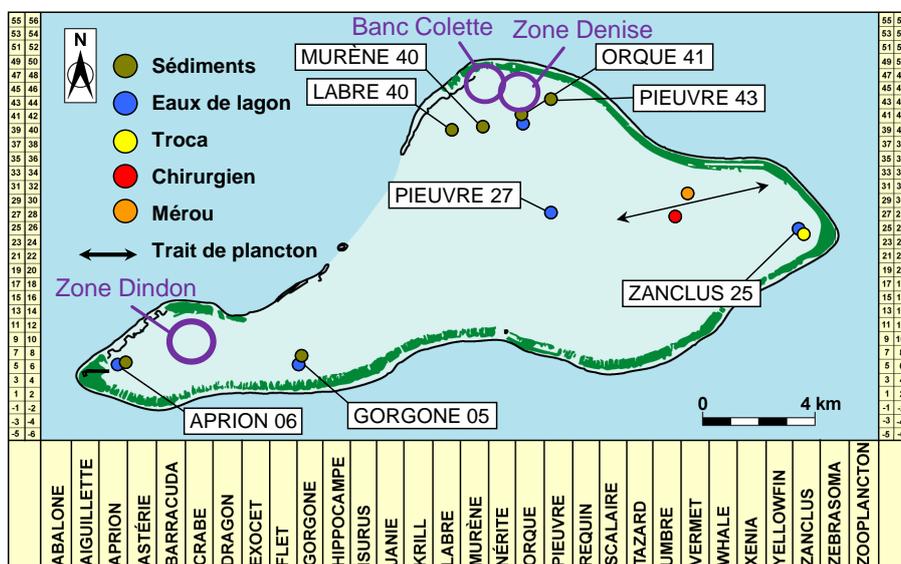


Figure 37. Emplacements des points de surveillance du lagon à Moruroa.

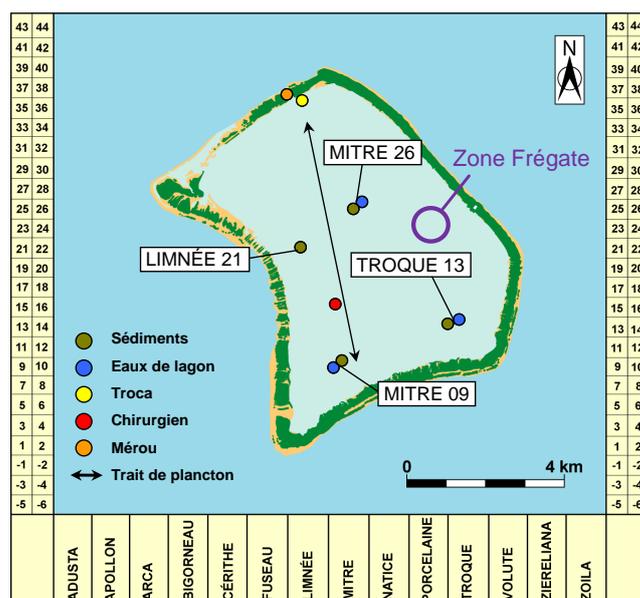


Figure 38. Emplacements des points de surveillance du lagon à Fangataufa.

4.1 Les eaux de lagon

Conformément au guide 2013, les prélèvements effectués dans le lagon de Moruroa sont réalisés aux cinq points suivants : APRION 06, GORGONE 05, ORQUE 41, PIEUVRE 27 et ZANCLUS 25 (Figure 37) et dans le lagon de Fangataufa aux trois points suivants : MITRE 09, MITRE 26 et TROQUE 13 (cf. Figure 37 et Figure 38).

4.1.1 Les prélèvements d'eau de lagon

Les prélèvements sont effectués en subsurface, à cinq mètres de profondeur. Deux fois cinquante millilitres d'eau sont prélevés à chaque point pour la mesure du tritium sous forme d'eau tritiée (Figure 38).

Il est à noter qu'en ZANCLUS 25 à Moruroa (face à la zone vie Martine) et en MITRE 26 à Fangataufa, deux fois trente litres sont prélevés en plus pour la mesure du césium-137 (^{137}Cs), du strontium-90 (^{90}Sr) et des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu).



Figure 39. Prélèvement d'eau de lagon (flacon de 50 mL).

En 2004, 2005 et 2016 les prélèvements sur Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

Les coordonnées des points de prélèvements à Moruroa et Fangataufa sont présentées dans le Tableau 20.

Tableau 20. Caractéristiques des prélèvements des eaux de lagon.

	Localisation	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa	APRION 06	26/03/2019	21°52,623'	139°01,712'	2 x 50 mL
	GORGONE 05	26/03/2019	21°52,826'	138°57,889'	2 x 50 mL
	ORQUE 41	27/03/2019	21°47,797'	138°53,298'	2 x 50 mL
	PIEUVRE 27	28/03/2019	21°49,598'	138°52,774'	2 x 50 mL
	ZANCLUS 25	25/03/2019	21°49,800'	138°47,500'	2 x 50 mL 2 x 30 L
Fangataufa	TROQUE 13	08/04/2019	22°15,257'	138°43,027'	2 x 50 mL
	MITRE 09	08/04/2019	22°15,843'	138°44,770'	2 x 50 mL
	MITRE 26	08/04/2019	22°13,665'	138°44,510'	2 x 50 mL 2 x 30 L

4.1.2 Résultats des analyses des eaux de lagon

Les mesures effectuées sont :

- une spectrométrie gamma (γ) sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs),
- une recherche et une mesure des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu) par spectrométrie alpha (α) sur détecteur semi-conducteur au silicium,
- la mesure du ^{90}Sr par dosage sur compteur proportionnel bas bruit par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium-90 (^{90}Y),
- une scintillation liquide pour la mesure du HTO (teneur en eau tritiée).

4.1.2.1 Radioactivité d'origine artificielle des eaux de lagon de Moruroa

Le guide de surveillance radiologique 2013 ne prévoit pas de surveillance de la radioactivité naturelle des eaux du lagon de Moruroa et Fangataufa.

Le Tableau 21 présente les valeurs mesurées de l'activité volumique en HTO, ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu des eaux du lagon de Moruroa.

Tableau 21. Activité volumique des radionucléides d'origine artificielle des eaux du lagon de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Localisation	HTO	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	Rapport ²³⁸ Pu/(²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu)
APRION 06	≤ 0,5					
GORGONE 05	≤ 0,5					
ORQUE 41	≤ 0,5					
PIEUVRE 27	≤ 0,5					
ZANCLUS 25	≤ 0,5	$(8,9 \pm 1,5) \cdot 10^{-4}$	$(8,2 \pm 5,0) \cdot 10^{-4}$	$(3,08 \pm 0,79) \cdot 10^{-5}$	$(1,58 \pm 0,18) \cdot 10^{-4}$	0,19

NB : les cases grisées signifient que ces radionucléides n'ont pas été mesurés conformément au guide de surveillance radiologique 2013.

La Figure 40 présente l'activité volumique des différents radionucléides d'origine artificielle détectés dans les eaux du lagon de Moruroa en 2019.

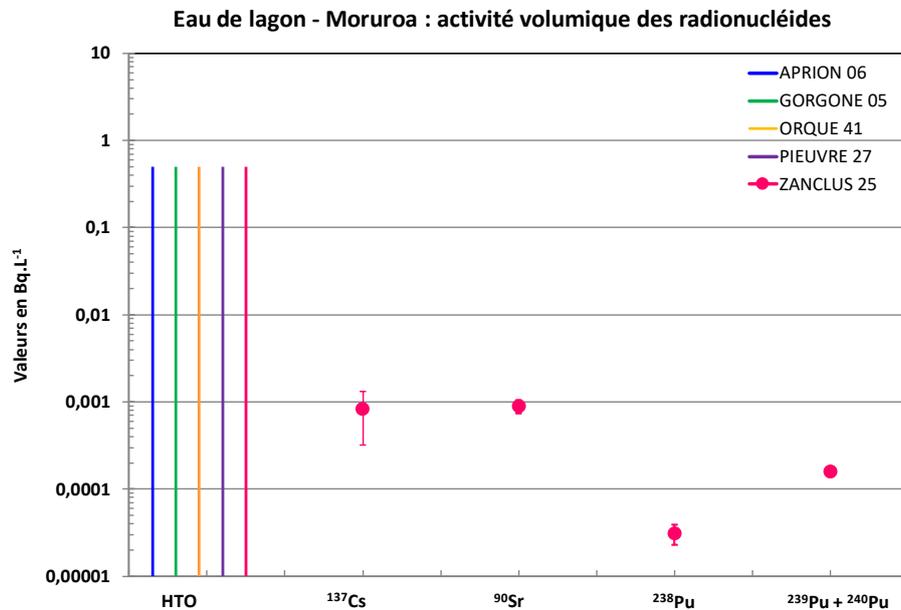


Figure 40. Activité volumique des eaux du lagon de Moruroa en 2019.

En 2019, toutes les valeurs en eau tritiée (HTO) se situent sous la limite de détection des appareils de mesure.

La Figure 41 présente le suivi de l'activité volumique en HTO et la Figure 42, le suivi des activités volumiques en ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²³⁸Pu et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu des eaux de surface du lagon de Moruroa depuis 1997.

Le suivi de l'activité volumique depuis 1997 montre :

- depuis 2006, des activités inférieures à la limite de détection en HTO (Figure 41).
- en 2019, comme pour les dernières années, une activité volumique en ¹³⁷Cs et en ⁹⁰Sr des eaux du lagon de Moruroa au même niveau que celle des eaux du lagon de Fangataufa et des eaux océaniques des 12 nautiques,
- une activité volumique en plutonium des eaux du lagon de Moruroa sans changement significatif.

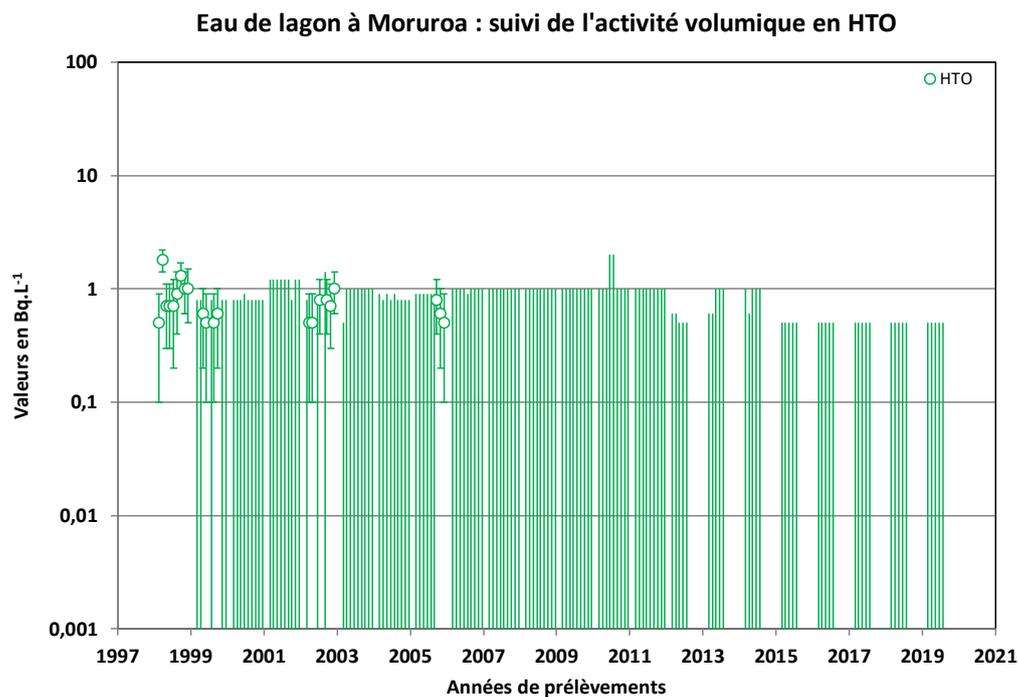
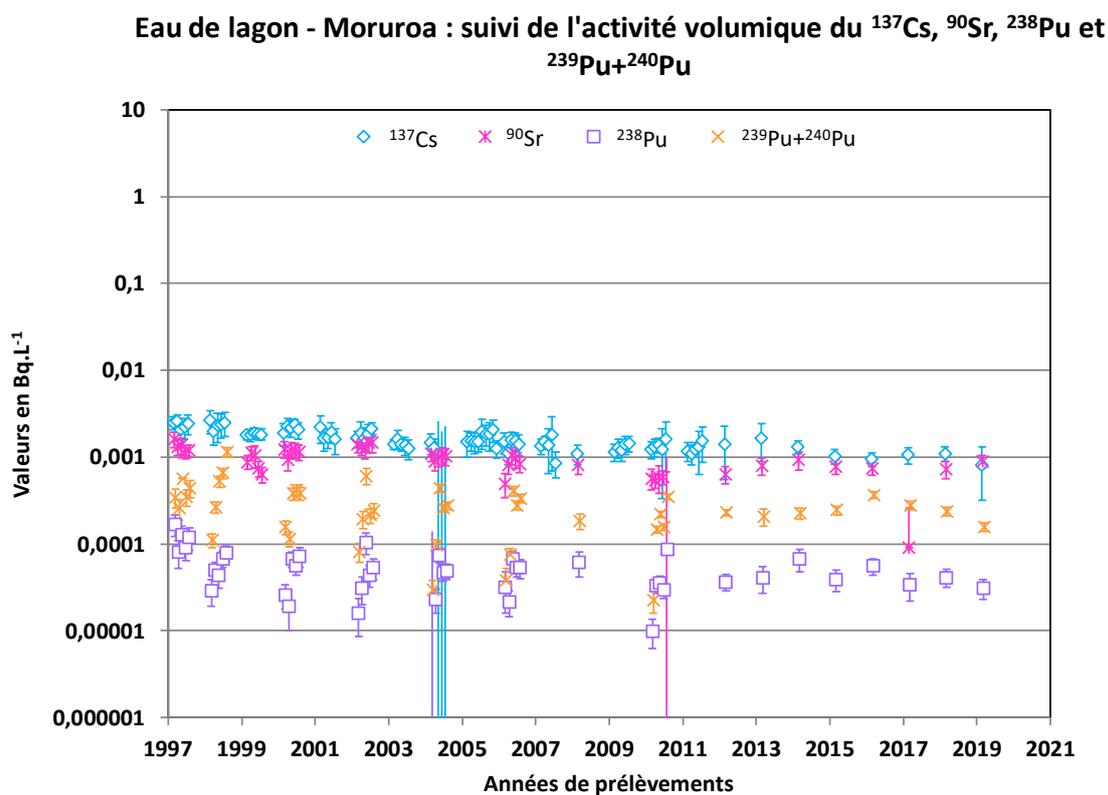


Figure 41. Suivi de l'activité volumique en HTO des eaux de lagon à Moruroa depuis 1997.

Figure 42. Suivi des activités volumiques en ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu+²⁴⁰Pu des eaux de lagon à Moruroa depuis 1997.

4.1.2.2 Radioactivité d'origine artificielle des eaux de lagon de Fangataufa

Le Tableau 22 présente les valeurs mesurées de l'activité volumique en HTO, ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des eaux du lagon de Fangataufa.

Tableau 22. Activité volumique des radionucléides d'origine artificielle des eaux du lagon de Fangataufa. Les résultats sont exprimés en Bq.L^{-1} .

Localisation	HTO	^{90}Sr	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	Rapport $^{238}\text{Pu}/(^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$
TROQUE 13	$\leq 0,5$					
MITRE 09	$\leq 0,5$					
MITRE 26	$\leq 0,5$	$(5,8 \pm 1,2) \cdot 10^{-4}$	$(10,4 \pm 2,9) \cdot 10^{-4}$	$(1,81 \pm 0,25) \cdot 10^{-4}$	$(5,11 \pm 0,46) \cdot 10^{-4}$	0,35

NB : les cases grisées signifient que ces radionucléides n'ont pas été mesurés conformément au guide de surveillance radiologique 2013.

La Figure 43 présente l'activité volumique des différents radionucléides d'origine artificielle détectés dans les eaux du lagon de Fangataufa en 2019.

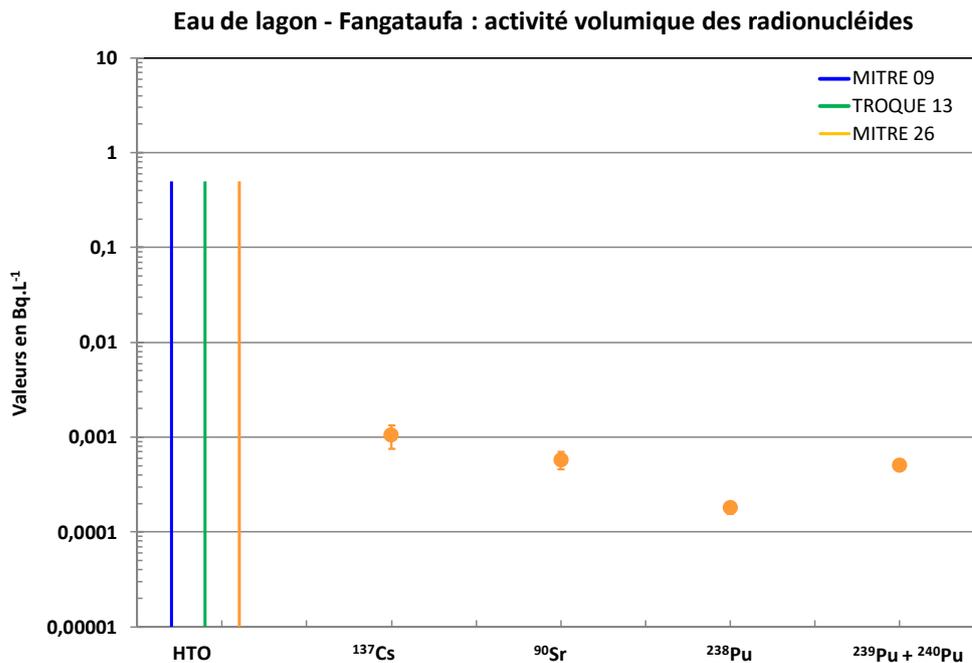


Figure 43. Activité volumique des eaux du lagon de Fangataufa en 2019.

En 2019, toutes les valeurs en eau tritiée (HTO) se situent sous la limite de détection des appareils de mesure.

La Figure 44 présente le suivi de l'activité volumique en HTO et la Figure 45 présente le suivi des activités volumiques en ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des eaux de surface du lagon de Fangataufa depuis 1997 (activité d'origine artificielle).

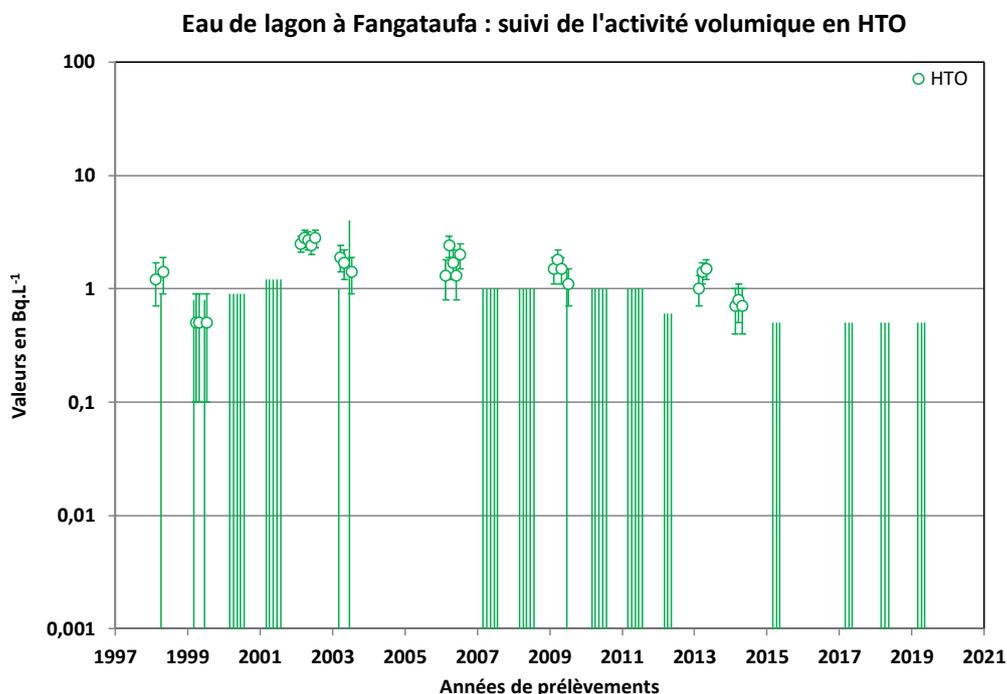


Figure 44. Suivi de l'activité volumique en HTO des eaux de lagon à Fangataufa depuis 1997.

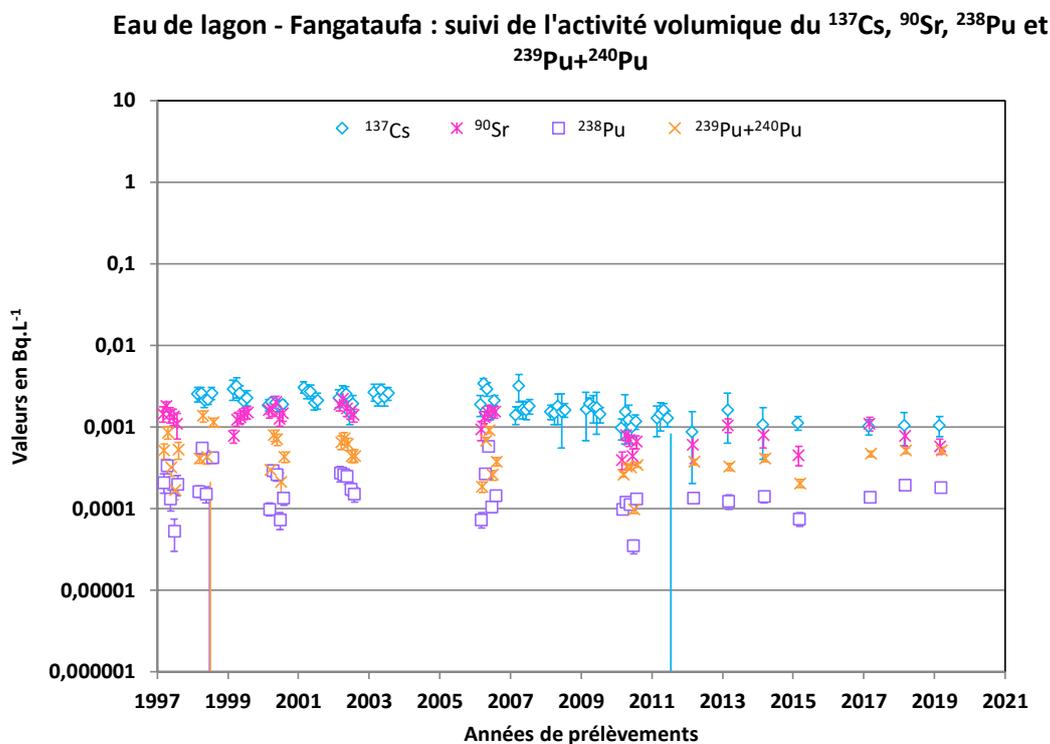


Figure 45. Suivi des activités volumiques en ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des eaux de lagon à Fangataufa depuis 1997.

Le suivi de l'activité volumique depuis 1997 montre :

- des activités volumiques en HTO inférieures ou très proches des limites de détection de l'appareil de mesure (Figure 44),
- en 2019, comme pour les années antérieures, une activité volumique en ^{137}Cs et en ^{90}Sr des eaux du lagon de Fangataufa au même niveau que celle des eaux du lagon de Moruroa et des eaux océaniques des 12 nautiques,
- une activité volumique en plutonium des eaux du lagon de Fangataufa sans changement significatif par rapport aux années précédentes. Elle est du même ordre de grandeur que celle des eaux du lagon de Moruroa (Figure 42 et Figure 45).

4.2 Les sédiments

La surveillance des sédiments est réalisée à partir de l'analyse des prélèvements de sédiments dans les lagons de Moruroa et Fangataufa.

Le suivi de la radioactivité des sédiments a pour but de surveiller les zones des anciens points d'expérimentations :

- à Moruroa, le banc Colette et la zone Denise (points LABRE 40, MURENE 40, ORQUE 41 et PIEUVRE 43) ainsi qu'en Dindon (points APRION 06 et GORGONE 05),
- à Fangataufa en Frégate (points LIMNEE 21, MITRE 09, MITRE 26 et TROQUE 13).

4.2.1 Les prélèvements des sédiments de lagon

Les prélèvements de sédiments sont effectués tous les ans dans les couches superficielles des fonds de lagon, à Moruroa et Fangataufa. Ils sont réalisés dans les mêmes zones et en général aux mêmes dates que ceux des eaux de lagon.

Les prélèvements sont effectués avec un godet dénommé « benne Shipeck » (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) manipulé grâce à une potence spécialement aménagée sur l'embarcation dédiée au prélèvement appelée le KAIMI.



Figure 46. Prélèvement de sédiment dans le godet de la benne Shipeck.

La Figure 37 et la Figure 38 précisent respectivement les emplacements des points de prélèvements à Moruroa et Fangataufa. La Figure 47 précise la localisation des points de prélèvements au voisinage du banc Colette à Moruroa.

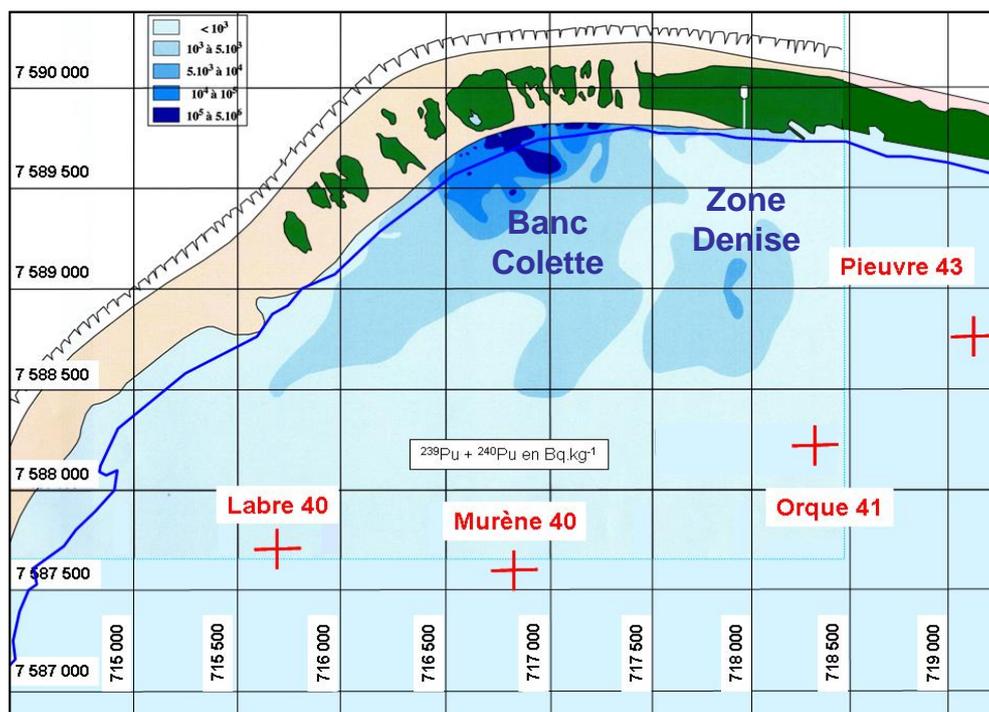


Figure 47. Emplacement des points de prélèvements de sédiments dans le voisinage du motu Colette.

Les caractéristiques des prélèvements de sédiments à Moruroa et Fangataufa sont résumées dans le Tableau 23.

Tableau 23. Caractéristiques des prélèvements de sédiments dans les lagons de Moruroa et Fangataufa.

Localisation		Profondeur (en m)	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées	
Moruroa	Zone Dindon	APRION 06	3	26/03/2019	21°52,623'	139°01,712'	500 mL
		GORGONE 05	15	26/03/2019	21°52,826'	138°57,889'	500 mL
	Zone Banc Colette et Denise	LABRE 40	41	27/03/2019	21°48,090'	138°54,828'	250 mL
		ORQUE 41	35,0	04/04/2019	21°47,734'	138°53,352'	250 mL
		PIEUVRE 43	36,1	04/04/2019	21°47,439'	138°52,857'	250 mL
		MURENE 40	43,8	27/03/2019	21°48,126'	138°54,163'	250 mL
Fangataufa	Zone Frégate	LIMNEE 21	43	08/04/2019	22°14,121'	138°44,470'	500 mL
		TROQUE 13	11	08/04/2019	22°15,257'	138°43,027'	500 mL
		MITRE 09	13	08/04/2019	22°15,843'	138°44,770'	500 mL
		MITRE 26	43	08/04/2019	22°13,665'	138°44,510'	500 mL

4.2.2 Résultats des analyses des sédiments de lagon

Les mesures effectuées sont :

- une spectrométrie gamma (γ) sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs et autres émetteurs γ) sur les sédiments APRION 06 et GORGONE 05 à Moruroa et LIMNEE 21, TROQUE 13, MITRE 09 et MITRE 26 à Fangataufa,
- une recherche et une mesure des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu) par spectrométrie alpha (α) sur détecteur semi-conducteur au silicium pour les quatre sédiments du banc Colette (LABRE 40, ORQUE 41, PIEUVRE 43 et MURENE 40).

4.2.2.1 Radioactivité d'origine naturelle des sédiments de lagon de Moruroa (hors banc COLETTE et zone Denise)

Le Tableau 24 regroupe les résultats des analyses effectuées sur les prélèvements de sédiments de lagon de Moruroa.

Tableau 24. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sédiments de lagon de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	^{40}K	^{210}Pb	^{226}Ra (^{214}Pb)	^{232}Th (^{228}Ac)	^{235}U	^{238}U (^{234}Th)
APRION 06	$7,0 \pm 1,2$	$12,9 \pm 3,6$	$0,59 \pm 0,20$	$\leq 0,55$	$1,24 \pm 0,14$	$21,8 \pm 1,9$
GORGONE 05	$7,10 \pm 0,98$	$14,4 \pm 2,4$	$0,46 \pm 0,16$	$\leq 0,38$	$1,15 \pm 0,10$	$20,1 \pm 2,5$

La Figure 48 présente l'activité massique des principaux radionucléides naturels détectés dans les sédiments de lagon de Moruroa en 2019.

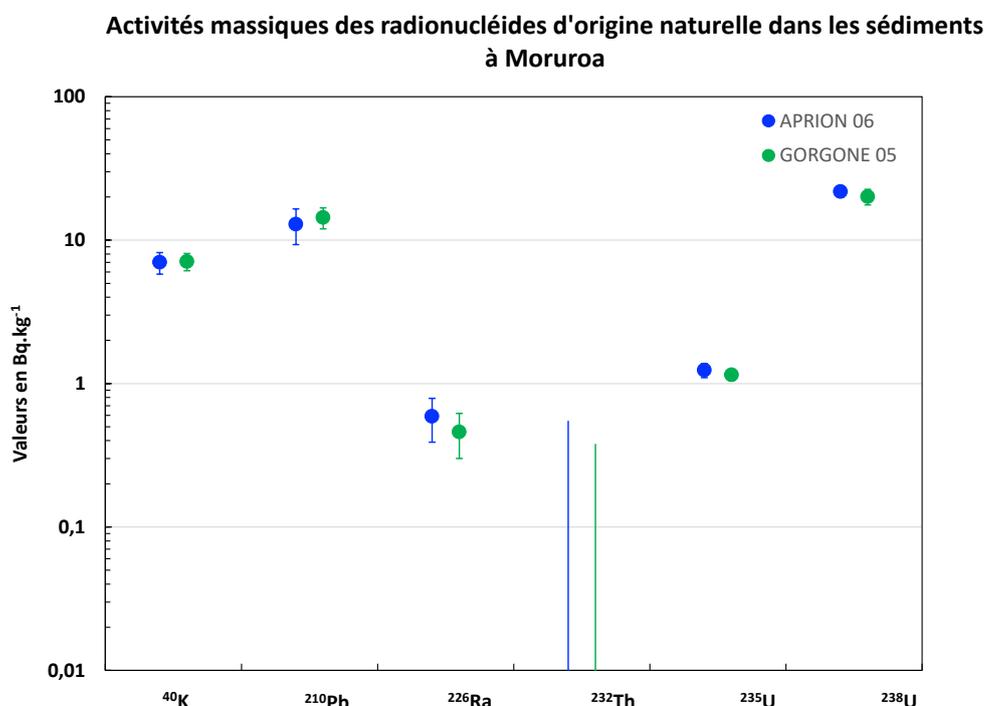


Figure 48. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sédiments de lagon de Moruroa en 2019.

Les niveaux d'activités massiques du ^{232}Th aux points de prélèvements APRION 06 et GORGONE 05 sont inférieurs à la limite de détection des appareils de mesure en 2019 et cela depuis 2004 (date de début de suivi de l'activité massique en ^{232}Th à ces points de surveillance).

La Figure 49 présente le suivi annuel de l'activité massique depuis 1997 pour ces mêmes radionucléides dans les sédiments de lagon à Moruroa.

De la même manière que pour les points de prélèvements des sols, les points de prélèvements des sédiments de lagon ont évolué dans le temps depuis 1997 :

- les anciens points de prélèvements étaient dans l'ordre : APRION 06, GORGONE 05, JANIE 32, LABRE 32, ORQUE 41, PIEUVRE 27, SCALAIRE 15, UMBRE 24, ZANCLUS 25,
- depuis 2012, les prélèvements sont effectués en APRION 06 et GORGONE 05, conformément au guide de surveillance radiologique 2013.

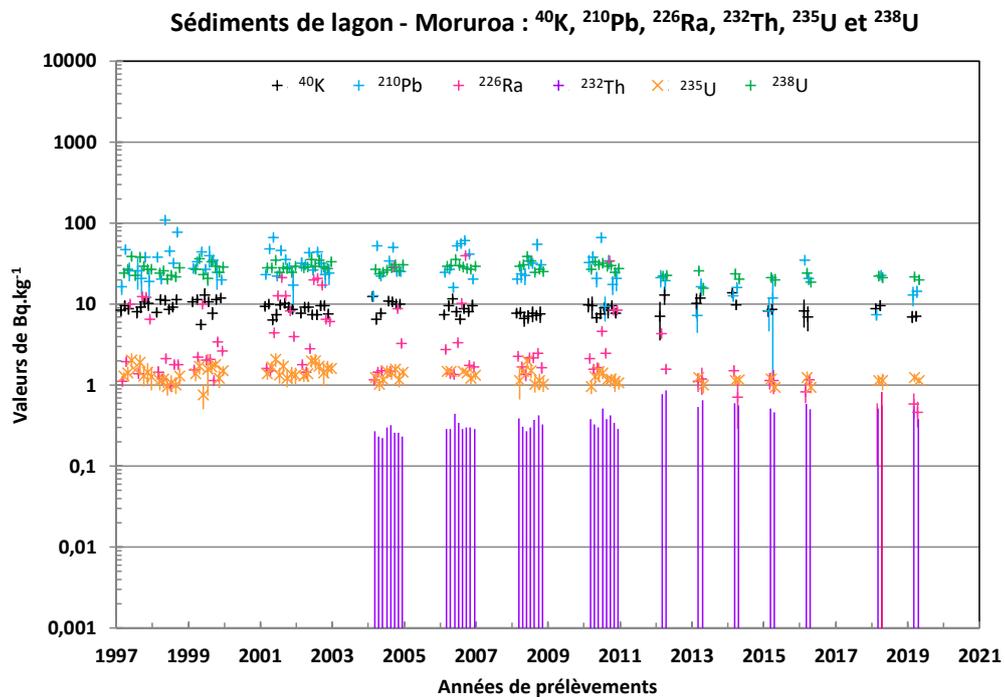


Figure 49. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine naturelle des sédiments de lagon à Moruroa depuis 1997.

Le suivi annuel de l'activité massique des radionucléides d'origine naturelle montre depuis 1997 une stabilité de leurs niveaux.

4.2.2.2 Radioactivité d'origine artificielle des sédiments de lagon de Moruroa (hors banc COLETTE et zone Denise)

Le Tableau 25 présente les résultats obtenus en ^{60}Co , en ^{137}Cs , en ^{155}Eu et en ^{241}Am pour les deux sédiments de lagon prélevés à Moruroa.

Tableau 25. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments de lagon de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	^{60}Co	^{137}Cs	^{155}Eu	^{241}Am
APRION 06	$\leq 0,20$	$\leq 0,13$	$\leq 0,38$	$0,909 \pm 0,093$
GORGONE 05	$\leq 0,15$	$\leq 0,11$	$\leq 0,38$	$0,257 \pm 0,047$

Seules les activités en ^{241}Am restent quantifiables.

La Figure 50 présente l'activité massique des principaux radionucléides artificiels mesurés dans les sédiments de Moruroa en 2019.

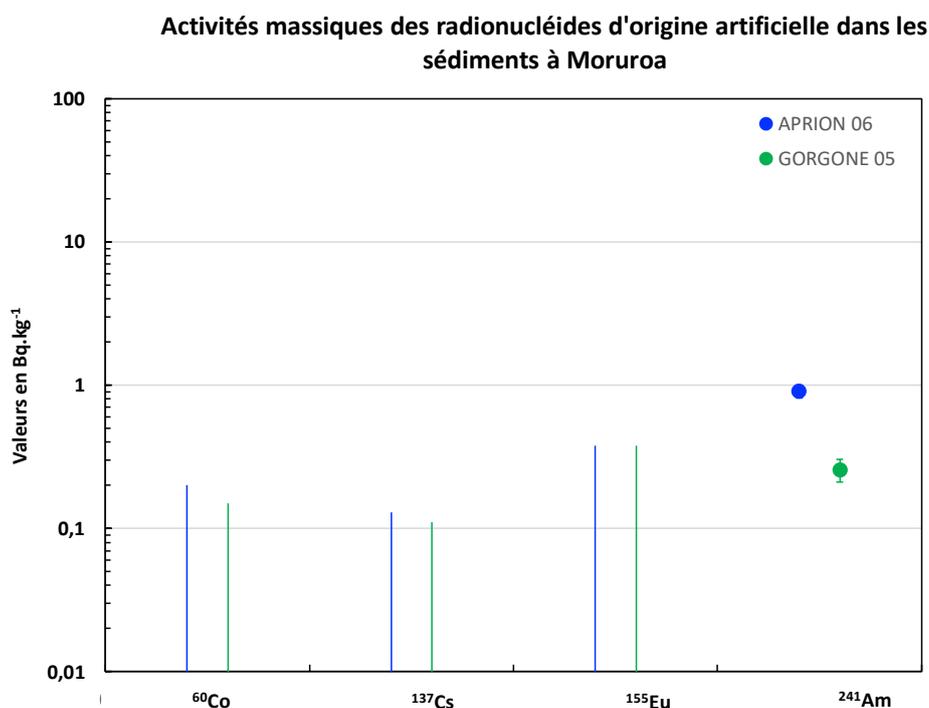


Figure 50. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments de lagon de Moruroa en 2019.

La Figure 51 présente le suivi annuel de l'activité massique depuis 1997 pour ces mêmes radionucléides d'origine artificielle dans les deux sédiments de lagon de Moruroa.

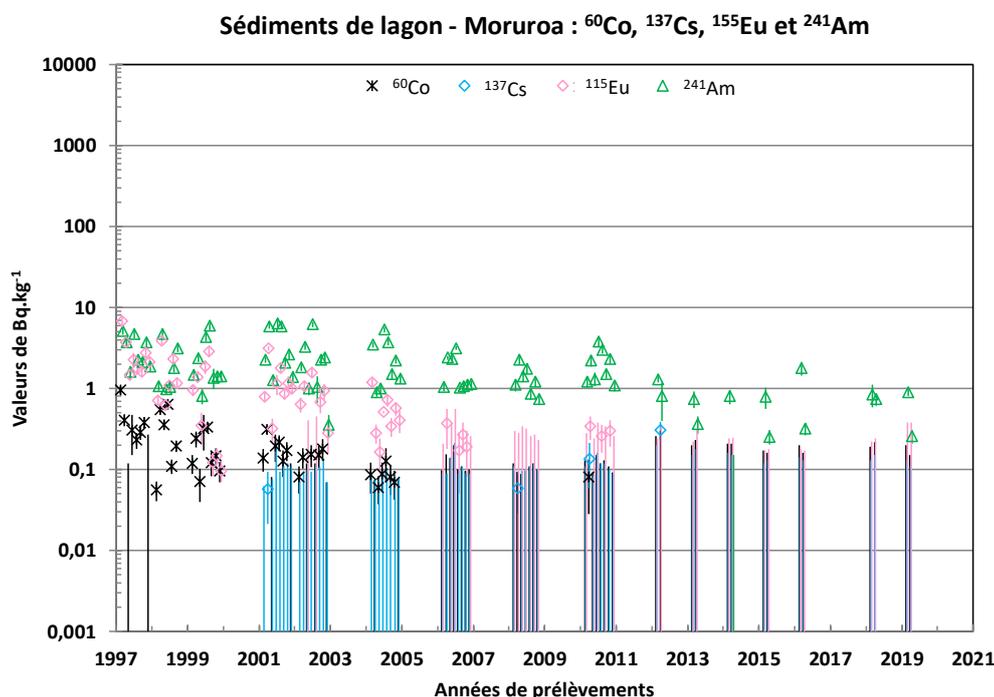


Figure 51. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine artificielle des sédiments de lagon à Moruroa depuis 1997.

Le suivi annuel depuis 1997 montre :

- les faibles activités ou la quasi-absence de ^{60}Co , ^{155}Eu et ^{137}Cs dans les sédiments de lagon à Moruroa (en APRION 06 et GORGONE 06),
- des activités en ^{241}Am soulignant la stabilité du sédiment de la zone Dindon.

4.2.2.3 Radioactivité d'origine artificielle des sédiments de lagon de Moruroa au sud et à l'est du banc COLETTE

Le Tableau 26 regroupe les activités massiques des isotopes du plutonium et le rapport de celles-ci, détectées dans les sédiments de lagon prélevés au Sud et à l'Est du banc Colette du lagon de Moruroa.

Tableau 26. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments au Sud et à l'Est du banc Colette du lagon de Moruroa. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Nom	Localisation	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	Rapport en % $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$
ORQUE 41	Est du banc Colette (proche Denise)	$85,2 \pm 5,5$	731 ± 29	11,5
PIEUVRE 43		$36,6 \pm 6,2$	$204,9 \pm 7,5$	17,6
LABRE 40	Sud du banc Colette	$23,9 \pm 6,4$	505 ± 16	4,7
MURENE 40		$25,8 \pm 6,6$	364 ± 14	7,0

La Figure 52 présente l'activité massique du ^{238}Pu et du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ au Sud et à l'Est du banc Colette pour 2019.

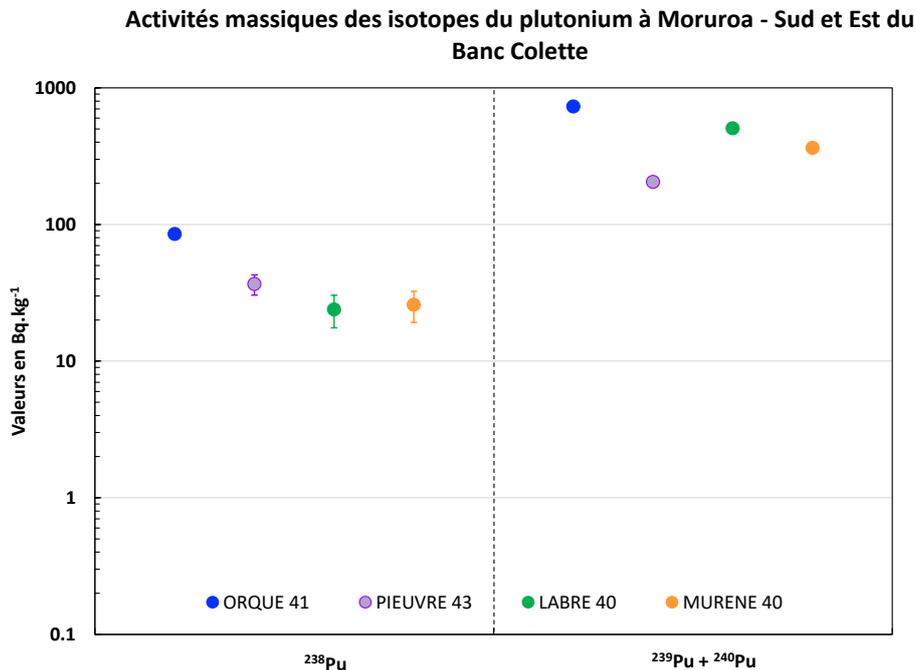


Figure 52. Activité massique des isotopes du plutonium dans les sédiments au Sud et à l'Est du banc Colette du lagon de Moruroa en 2019.

La Figure 53 présente les activités massiques de ces mêmes radionucléides depuis 1997. L'axe des abscisses présente par année les points de prélèvements ordonnés de gauche à droite comme suit : de 1997 à 2011 ORQUE 41, depuis 2012 ORQUE 41, LABRE 40, MURENE 40 et PIEUVRE 43.

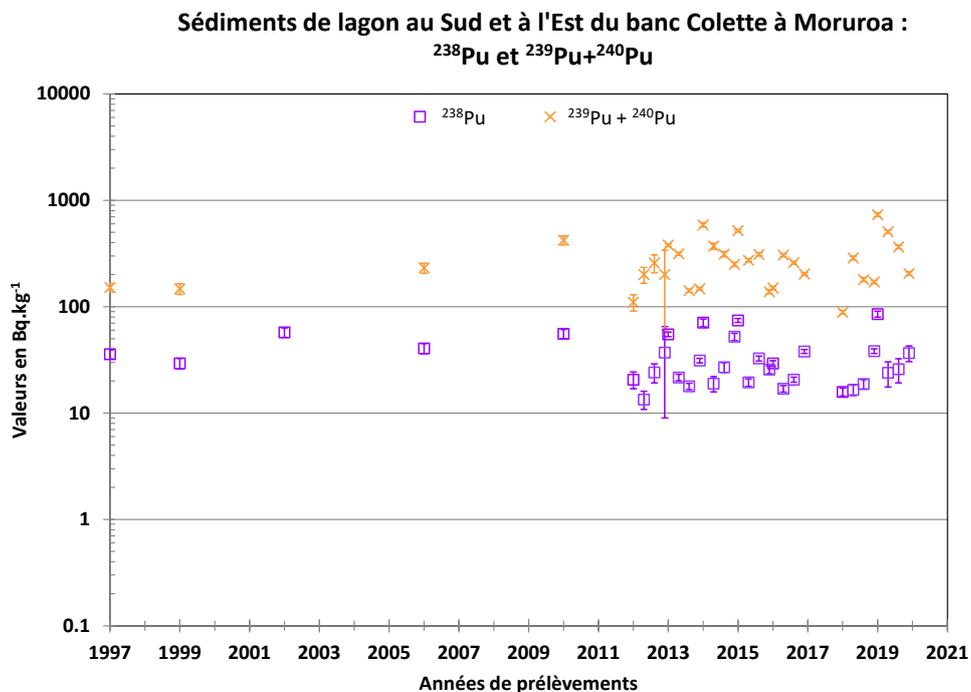


Figure 53. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu et du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des sédiments de lagon au Sud et à l'Est du banc Colette à Moruroa depuis 1997.

Le suivi de l'activité massique des isotopes du plutonium depuis 1997 ne montre aucune évolution significative de l'influence du banc Colette dans le suivi de ces quatre points de prélèvements car les activités restent du même ordre de grandeur entre les différents points de prélèvements (Figure 53). De la même manière, il n'y a pas d'évolution depuis 1986 du rapport des activités massiques $^{238}\text{Pu}/(^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ de ces quatre points. Ces résultats confirment la stabilité du banc Colette.

4.2.2.4 Radioactivité d'origine naturelle des sédiments de lagon de Fangataufa

Le Tableau 27 regroupe les résultats des analyses effectuées sur les prélèvements de sédiments de lagon de Fangataufa (activités d'origine naturelle).

Tableau 27. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sédiments de lagon de Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	^{40}K	^{210}Pb	^{226}Ra (^{214}Pb)	^{232}Th (^{228}Ac)	^{235}U	^{238}U (^{234}Th)
TROQUE 13	$5,9 \pm 1,4$	$3,3 \pm 1,2$	$1,40 \pm 0,14$	$\leq 0,31$	$1,85 \pm 0,17$	$33,2 \pm 3,1$
MITRE 09	$9,1 \pm 1,3$	$9,0 \pm 1,1$	$10,8 \pm 4,9$	$\leq 0,25$	$1,17 \pm 0,34$	$32,6 \pm 2,6$
MITRE 26	$11,9 \pm 2,9$	$45,5 \pm 5,0$	$23,6 \pm 1,5$	$\leq 0,43$	$1,77 \pm 0,19$	$37,8 \pm 3,5$
LIMNEE 21	$14,0 \pm 1,6$	$26,4 \pm 2,2$	$3,53 \pm 0,32$	$\leq 0,46$	$1,46 \pm 0,31$	$31,3 \pm 2,3$

La Figure 54 présente l'activité massique des principaux radionucléides naturels détectés dans les sédiments de lagon de Fangataufa en 2019.

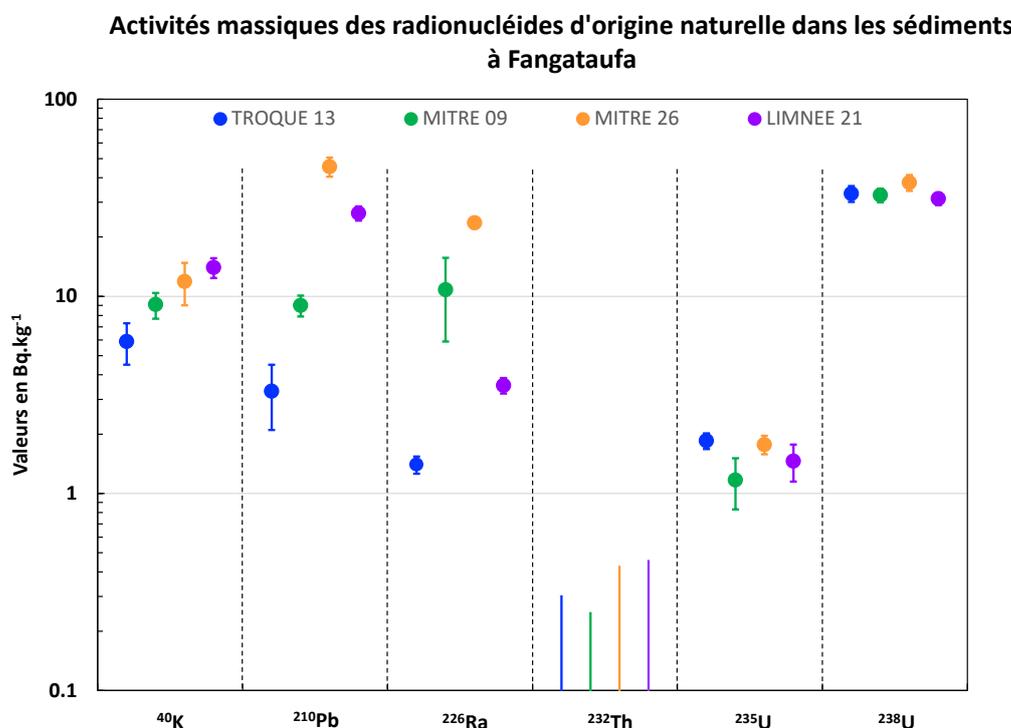


Figure 54. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sédiments de lagon de Fangataufa en 2019.

Les niveaux d'activité massique du ^{232}Th aux différents points de prélèvements à Fangataufa sont inférieurs à la limite de détection des appareils de mesure en 2019 et cela depuis 2001 (date de début de suivi de l'activité massique en ^{232}Th à ces points de surveillance).

La Figure 55 présente le suivi annuel de l'activité massique depuis 1997 pour ces mêmes radionucléides dans les sédiments de lagon à Fangataufa.

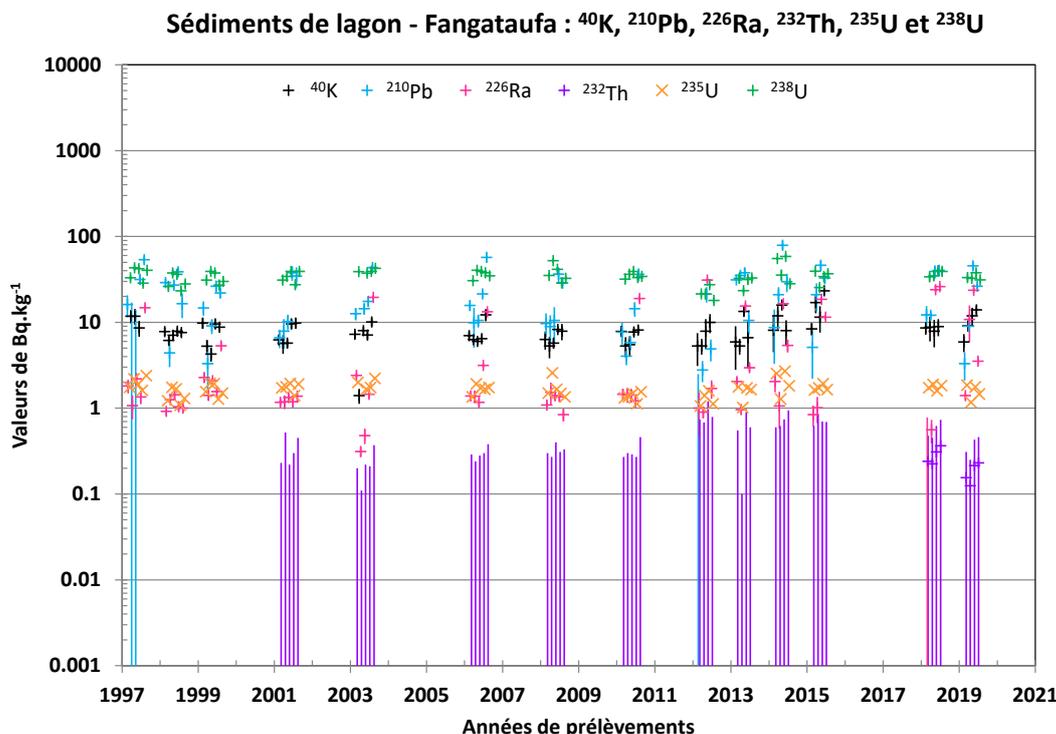


Figure 55. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine naturelle des sédiments de lagon à Fangataufa depuis 1997.

De la même manière que pour les points de prélèvements des sols, les points de prélèvements des sédiments de lagon ont évolué, dans le temps depuis 1997 :

- les anciens points de prélèvements étaient dans l'ordre : LIMNEE 35, TROQUE 13, MITRE 09, CERITHE 27, MITRE 26, LIMNEE 21,
- depuis 2012, les prélèvements sont effectués en zones TROQUE 13, MITRE 09, MITRE 26 et LIMNEE 21, conformément au guide de surveillance radiologique 2013,
- en 2004, 2005, 2016, les prélèvements sur Fangataufa n'ont pas pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien,
- en 2017, les prélèvements de sédiments n'ont pu être réalisés du fait de l'utilisation d'une embarcation provisoire non adaptée au matériel utilisé.

Le suivi annuel de l'activité massique des radionucléides d'origine naturelle montre depuis 1997 des niveaux d'activités massiques comparables.

4.2.2.5 Radioactivité d'origine artificielle des sédiments de lagon de Fangataufa

Le Tableau 28 présente les résultats obtenus en ^{60}Co , en ^{137}Cs , en ^{155}Eu et en ^{241}Am pour les quatre sédiments de lagon prélevés à Fangataufa.

Tableau 28. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments de lagon de Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

Localisation	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	¹⁵⁵ Eu	²⁴¹ Am
TROQUE 13	≤ 0,12	≤ 0,081	≤ 0,14	7,09 ± 0,48
MITRE 09	≤ 0,10	0,085 ± 0,023	≤ 0,14	5,86 ± 0,47
MITRE 26	0,110 ± 0,049	0,35 ± 0,1	0,41 ± 0,26	12,75 ± 0,92
LIMNEE 21	≤ 0,19	0,369 ± 0,052	0,56 ± 0,26	17,6 ± 1,2

La Figure 56 présente l'activité massique des principaux radionucléides artificiels mesurés dans les sédiments de Fangataufa en 2019.

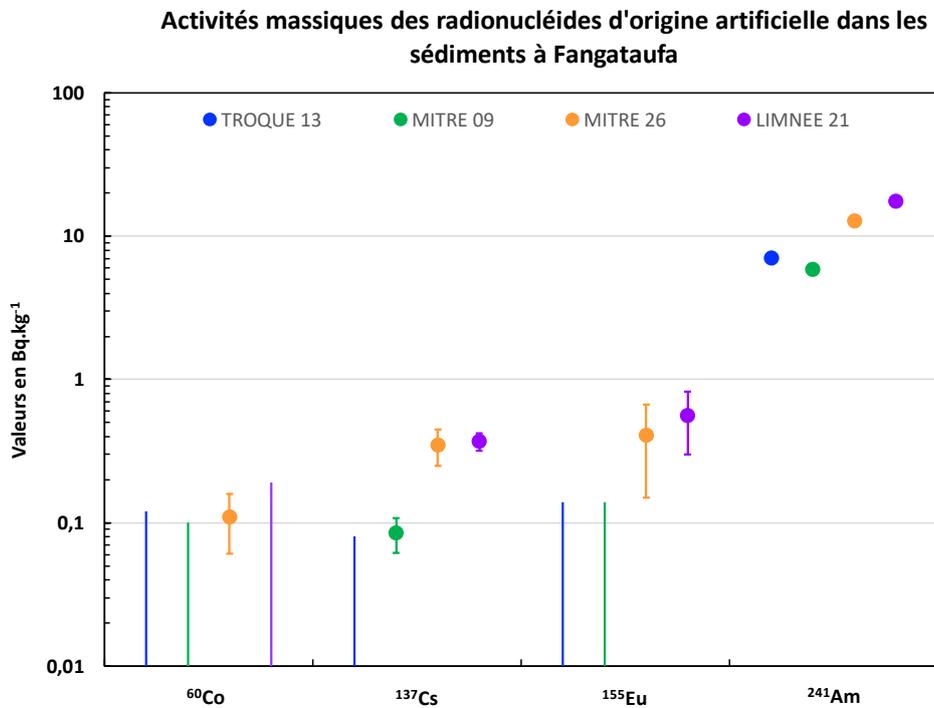


Figure 56. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments de lagon de Fangataufa en 2019.

La Figure 57 présente le suivi annuel de l'activité massique depuis 1997 pour ces mêmes radionucléides d'origine artificielle dans les quatre sédiments de lagon de Fangataufa.

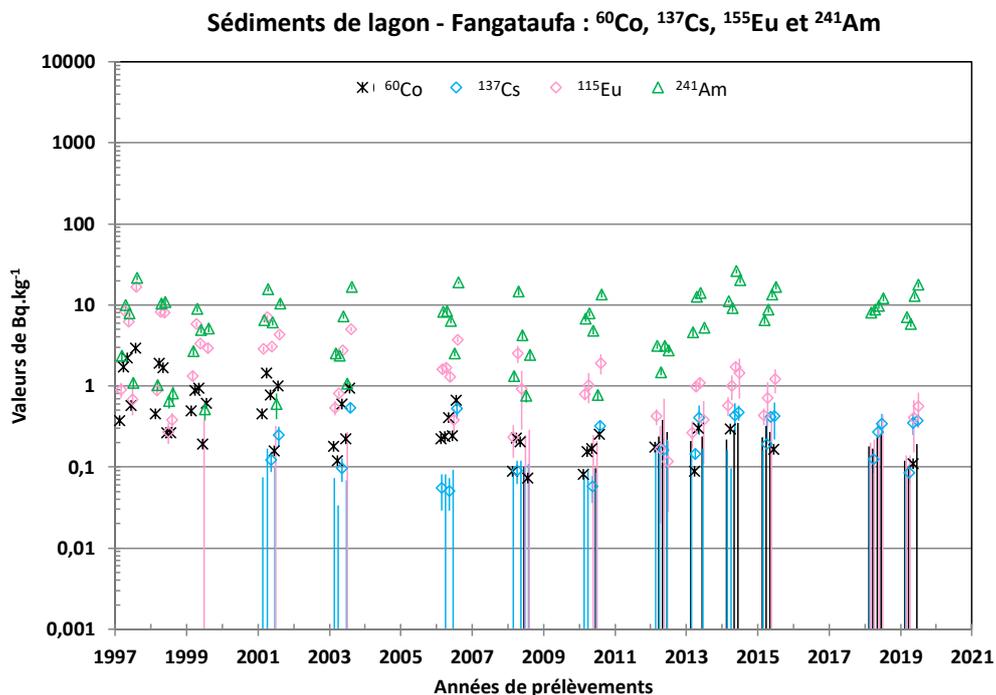


Figure 57. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine artificielle des sédiments de lagon à Fangataufa depuis 1997.

Le suivi annuel depuis 1997 montre :

- les faibles activités en ^{137}Cs ou la quasi-absence de ^{60}Co et ^{155}Eu dans les sédiments de lagon à Fangataufa,
- l'absence d'évolution significative de l'influence de la zone Frégate dans le suivi de ces quatre points de prélèvements car les activités massiques en ^{241}Am depuis 1997 restent du même ordre de grandeur entre les différents points de prélèvements (Figure 57).

4.3 Le plancton de lagon

Le plancton désigne un ensemble d'organismes animaux (zooplancton : copépodes...) et végétaux (phytoplancton : diatomées...). Ces organismes de petite taille vivent en pleine eau et ont une capacité natatoire très faible voire nulle. D'un prélèvement à l'autre, il peut y avoir une variation des espèces planctoniques collectées par les filets à plancton ainsi que de la quantité de particules sédimentaires et organiques. En effet, l'agitation naturelle du lagon provoque la mise en suspension de particules sédimentaires et organiques, ayant une granulométrie équivalente à celle du plancton ce qui engendre lors du prélèvement, des mélanges qu'il est impossible de séparer (densité et granulométrie équivalente entre le plancton et les particules en suspension ou de possibles phénomènes d'adsorption de particules sur le plancton, etc.). Ces variabilités sont des causes probables de la dispersion notable des valeurs mesurées.

4.3.1 Les prélèvements de plancton de lagon

Chaque année, un prélèvement est réalisé dans les lagons de Moruroa et de Fangataufa.

Le plancton est récolté à l'aide de trois filets tractés par une embarcation légère à vitesse réduite. Chaque filet cylindro-conique de grande taille est composé de tissu nylon à mailles dégressives. L'extrémité du filet est munie d'un collecteur en P.V.C. Pour obtenir environ cinq cents grammes de plancton nécessaires à la mesure, plusieurs traits peuvent si besoin être réalisés, ce qui a été le cas en 2019.



Figure 58. Plancton de lagon à l'égouttage.

Le contenu de chaque collecteur est passé sur deux tamis superposés de mailles de 4 mm et 0,1 mm. La fraction collectée contenant le plancton est comprise entre les deux tamis ($4 \text{ mm} < \text{fraction} > 0,1 \text{ mm}$). La fraction supérieure à 4 mm, contenant les organismes macroplanctoniques (méduses par exemple) est rejetée ainsi que la fraction inférieure à 0,1 mm. La partie planctonique retenue par le tamis de 0,1 mm est recueillie puis égouttée sur papier absorbant durant trois heures (Figure 58). Les filets sont susceptibles de ramasser aussi d'autres éléments comme par exemple de très fines particules sédimentaires.

Les localisations des points de prélèvements sont présentées dans la Figure 37 et la Figure 38 pour les atolls de Moruroa et Fangataufa respectivement. Le Tableau 29 présente les masses prélevées.

Tableau 29. Caractéristiques des prélèvements de plancton de lagon.

Localisation	Date de prélèvement	Nb de trait	Quantités prélevées
Moruroa – zone Est (A4 vers coffre)	04/04/2019	1	475 g
Fangataufa (Sud vers la Passe)	08/04/2019	1	485 g

4.3.2 Résultats des analyses du plancton de lagon

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du ^{90}Sr et des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu). Le ^{40}K est le seul radionucléide d'origine naturelle recherché dans les échantillons. La mesure du ^{90}Sr n'est effectuée que si la valeur en ^{137}Cs est supérieure à 1 Bq.kg^{-1} . Dans ce cas, le dosage du ^{90}Sr est alors réalisé par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium-90 (^{90}Y) sur compteur proportionnel bas bruit.

En 2004, 2005 et 2016 les prélèvements sur Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

Le Tableau 30 présente les résultats des analyses effectuées sur les planctons de lagon prélevés en 2019 à Moruroa et Fangataufa.

Tableau 30. Activité massique des radionucléides dans le plancton de lagon prélevé à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	Radionucléides d'origine				
	Naturelle	Artificielle			
	^{40}K	^{60}Co	^{137}Cs	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu
Fangataufa	$51,8 \pm 4,6$	$0,222 \pm 0,027$	$\leq 0,031$	$0,755 \pm 0,045$	$2,54 \pm 0,14$
Moruroa	$35,9 \pm 3,1$	$\leq 0,11$	$\leq 0,063$	$3,02 \pm 0,12$	$22,68 \pm 0,82$

La Figure 59 présente les résultats des analyses effectuées sur les planctons de lagon en 2019 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle.

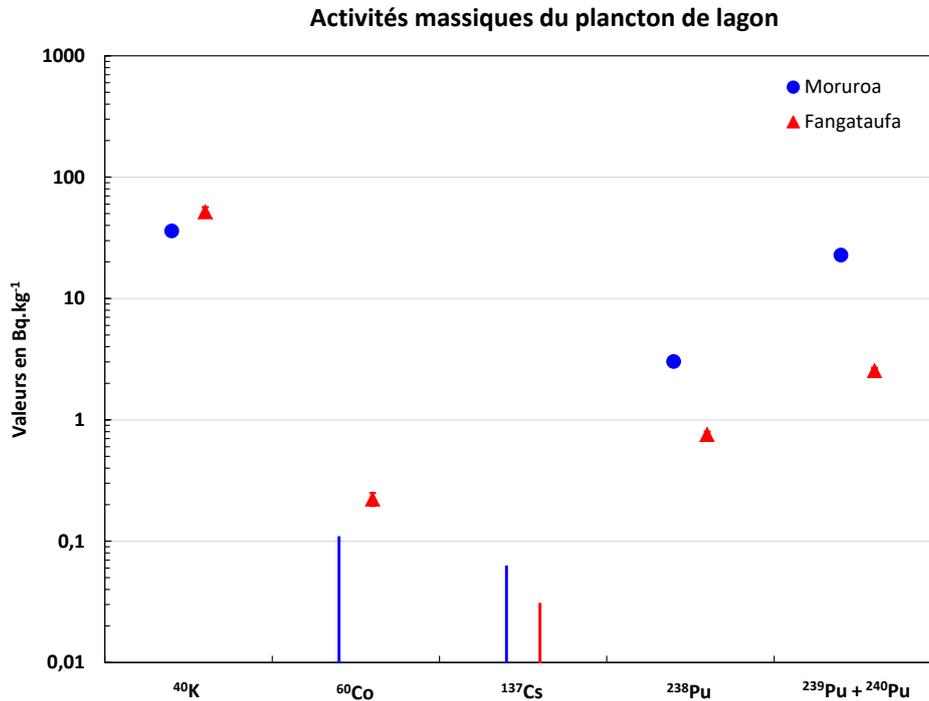


Figure 59. Activité massique du plancton des lagons de Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

En 2019, les activités massiques du plancton de lagon en ⁶⁰Co à Moruroa et en ¹³⁷Cs pour les deux atolls sont inférieures à la limite de détection des appareils de mesure.

4.3.2.1 Radioactivité d'origine naturelle du plancton de lagon

La Figure 60 présente le suivi de l'activité massique du ⁴⁰K des planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. La valeur mesurée en 2009 est un artéfact de mesure.

L'activité massique en ⁴⁰K est cohérente avec les valeurs attendues.

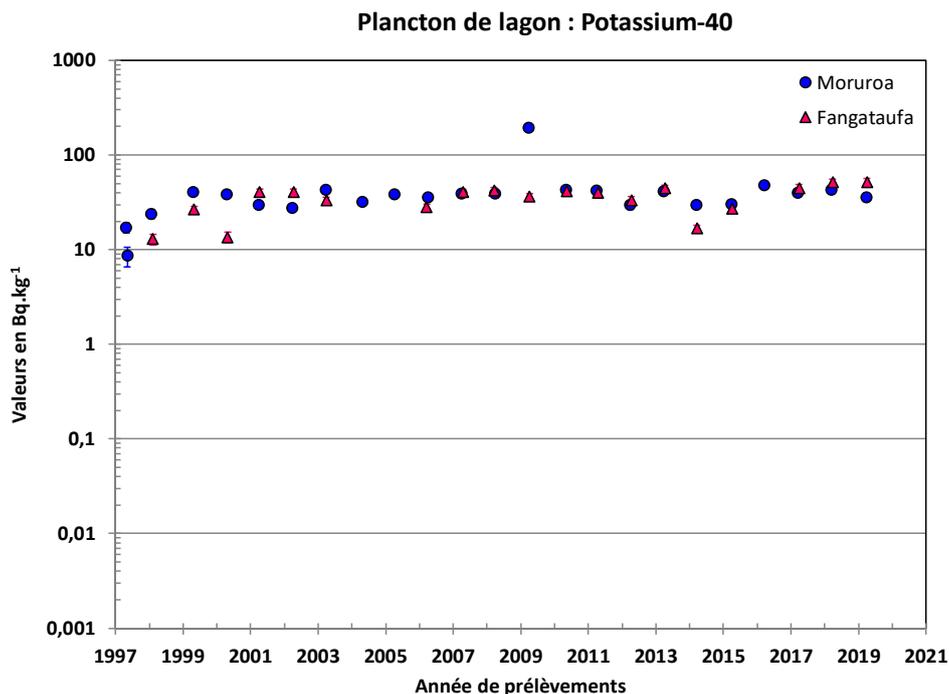


Figure 60. Suivi de l'activité massique du ^{40}K dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

4.3.2.2 Radioactivité d'origine artificielle du plancton de lagon

Les figures suivantes (Figure 61, Figure 63, Figure 64 et Figure 62) présentent les activités massiques du ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1997 à Moruroa et Fangataufa.

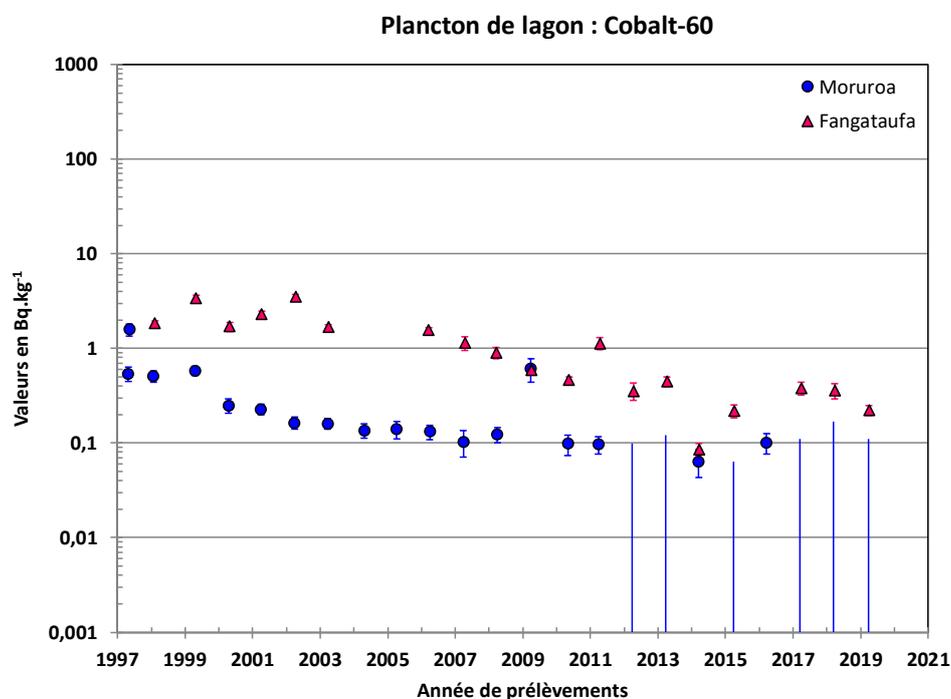


Figure 61. Suivi de l'activité massique du ^{60}Co dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

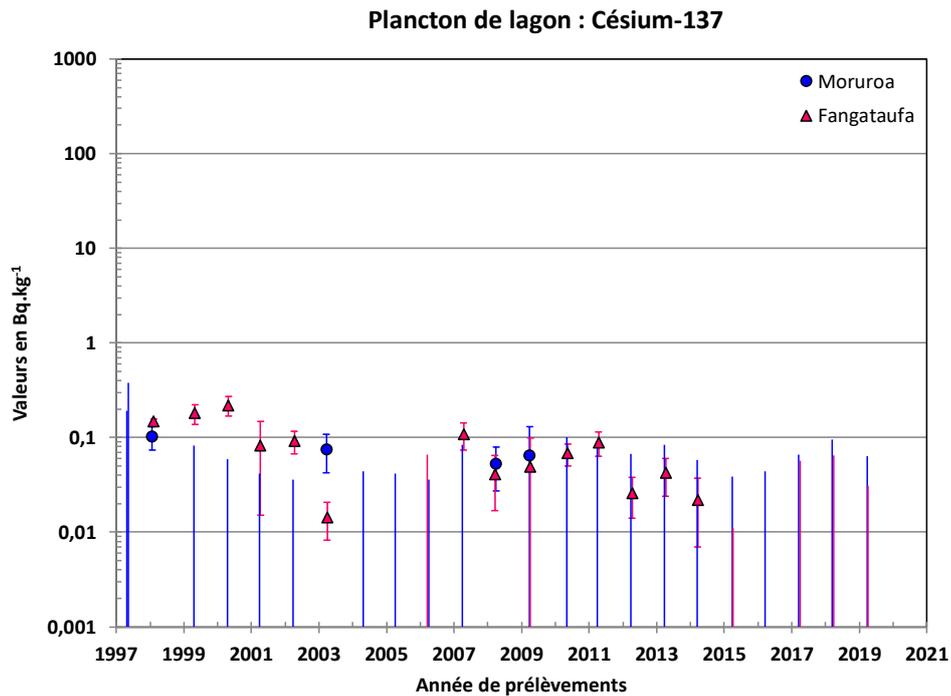


Figure 62. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

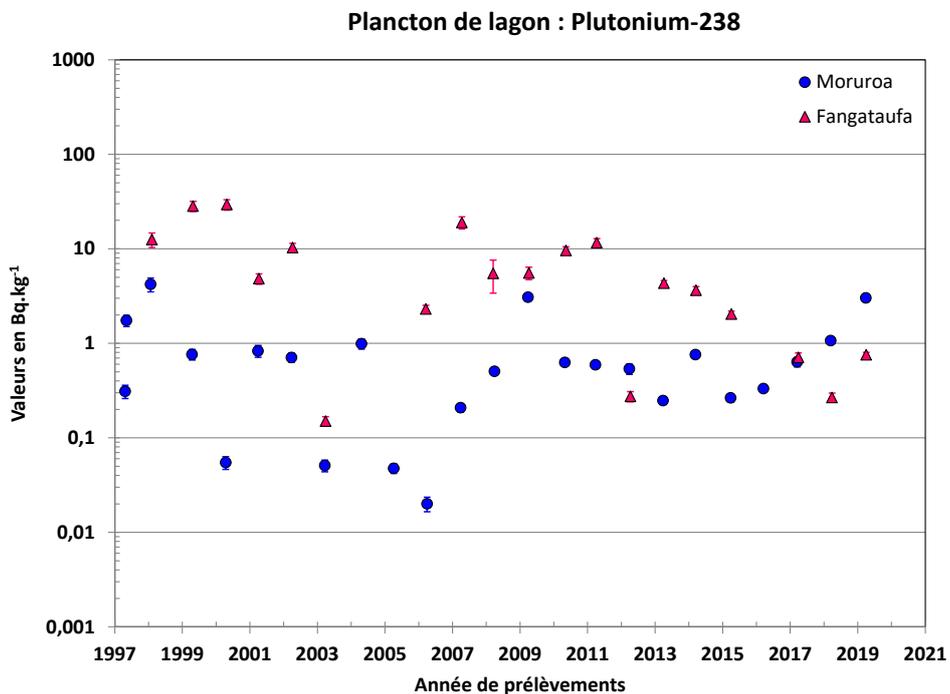


Figure 63. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

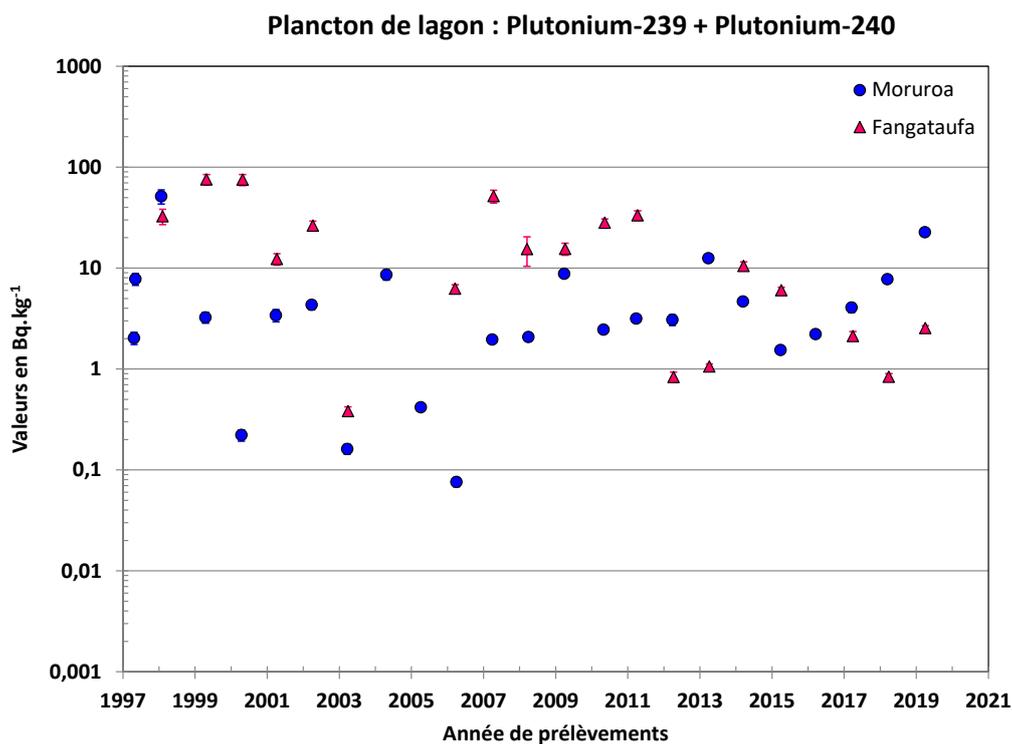


Figure 64. Suivi de l'activité massique du ^{239}Pu + ^{240}Pu dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Le suivi des activités massiques de ces radionucléides depuis 1997 montre :

- des activités massiques en ^{60}Co très proches de la limite de détection à Moruroa depuis 2012 et en diminution régulière à Fangataufa en raison de la décroissance radioactive de ce radionucléide,
- des activités massiques en ^{137}Cs inférieures ou très proches de la limite de détection,
- une forte dispersion des valeurs mesurées en ^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu depuis 1997 avec un facteur 100 entre les valeurs minimales et maximales observées sur chaque atoll. Cela peut s'expliquer à la fois par la variabilité des espèces prélevées mais aussi par la quantité très variable de particules sédimentaires et organiques collectées lors du prélèvement.

4.4 Le troca

Le troca (*Trochus niloticus*) est un grand mollusque gastéropode de forme conique pouvant atteindre quinze centimètres de diamètre. Originaire d'Indonésie, il a été introduit dans les années 1950 à Tahiti et en 1958 aux « Tuamotu ».

À Moruroa, des peuplements importants se sont constitués en plusieurs endroits. Le troca est fixé sur des supports naturels (platier récifal interne, pâtés de coraux) ou artificiels (coques de navires, quais...). Il se nourrit des gazons d'algues en se déplaçant lentement.

4.4.1 Les prélèvements des troca

Chaque année, ce mollusque est ramassé à Moruroa en zone Est et à Fangataufa en zone Nord (voir Figure 37 et Figure 38).

Il se ramasse sur les pâtés de coraux entre un demi et deux mètres de profondeur (Figure 65). Les coquilles sont cassées afin d'extraire l'animal. La partie musculaire, aussi appelée le pied, est prélevée jusqu'à obtention d'un poids d'environ deux kilogrammes de chair.



Figure 65. Troca sans coquille.

Les coordonnées de points de prélèvements sont présentées dans le Tableau 31.

Tableau 31. Caractéristiques des prélèvements de troca à Moruroa et Fangataufa en 2019.

Localisation	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa	20/03/2019	21°49,856'	138°47,504'	1 900 g
Fangataufa	09/04/2019	22°12,044'	138°45,347'	3 620 g

4.4.2 Résultats des analyses du troca

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du ^{90}Sr et des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu).

Le ^{40}K est le seul radionucléide d'origine naturelle recherché dans les échantillons.

La mesure du ^{90}Sr n'est effectuée que si la valeur en ^{137}Cs est supérieure à $0,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Dans ce cas, le dosage du ^{90}Sr est alors réalisé par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium 90 (^{90}Y) sur compteur proportionnel bas bruit.

En 2004, 2005 et 2016 les prélèvements sur Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

Le Tableau 32 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de troca prélevée en 2019 à Moruroa et Fangataufa.

Tableau 32. Activité massique des radionucléides dans le troca de lagon prélevé à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	Radionucléides d'origine				
	Naturelle	Artificielle			
	^{40}K	^{60}Co	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
Fangataufa	$82,2 \pm 8,0$	$0,073 \pm 0,013$	$0,017 \pm 0,011$	$0,271 \pm 0,018$	$0,813 \pm 0,053$
Moruroa	86 ± 11	$\leq 0,032$	$0,0140 \pm 0,0049$	$0,0378 \pm 0,0045$	$0,350 \pm 0,035$

La Figure 66 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de troca en 2019 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle.

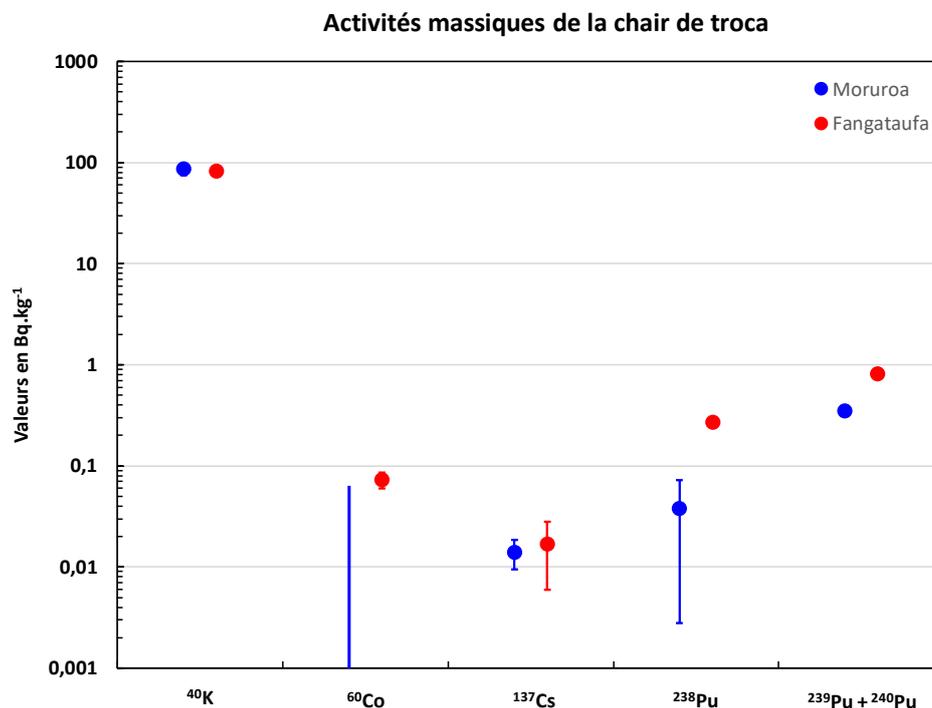


Figure 66. Activité massique de la chair de troca à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

En 2019, seules les activités massiques en ^{60}Co à Moruroa de la chair de troca sont inférieures à la limite de détection des appareils de mesure.

4.4.2.1 Radioactivité d'origine naturelle du troca

La Figure 67 présente le suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair du troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

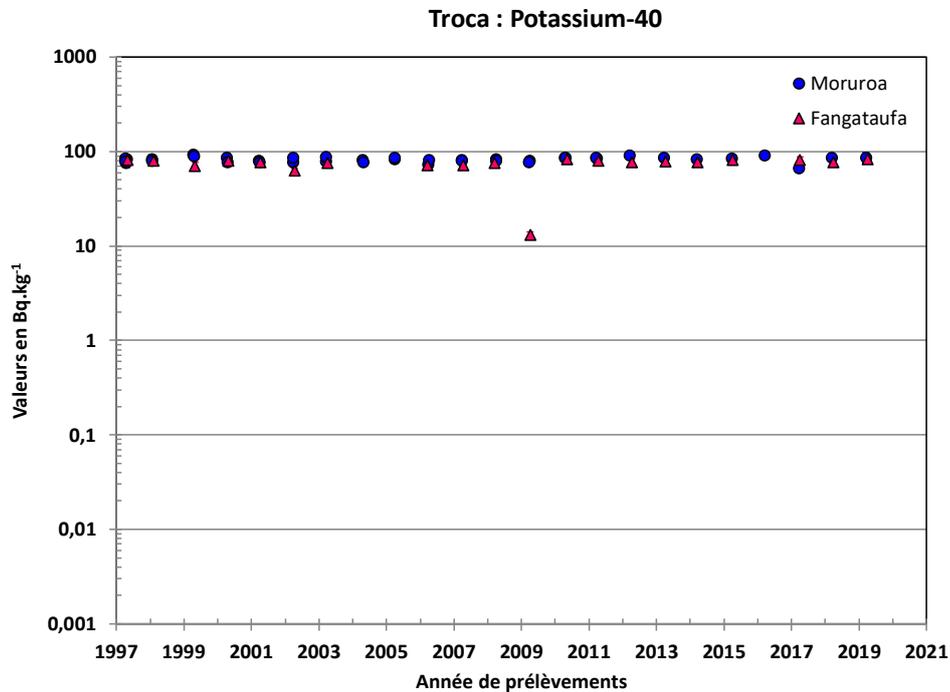


Figure 67. Suivi de l'activité massique du ^{40}K dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

L'activité massique en ^{40}K depuis 1997 est cohérente avec la valeur attendue. Il est à noter que la valeur mesurée en 2009 à Fangataufa correspond à un artéfact de mesure.

4.4.2.2 Radioactivité d'origine artificielle du troca

Les figures suivantes (Figure 68, Figure 69, Figure 70 et Figure 71) présentent les activités massiques du ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1997 à Moruroa et Fangataufa.

Le suivi des activités massiques de la chair de troca en radionucléides artificiels depuis 1997 montre :

- une décroissance de l'activité massique du ^{60}Co en adéquation avec sa période radioactive. Cette activité massique est depuis 2014 systématiquement inférieure à la limite de détection des appareils de mesure pour l'atoll de Moruroa,
- des activités massiques en ^{137}Cs inférieures ou très proches de la limite de détection instrumentale aussi bien pour Moruroa que pour Fangataufa,
- des activités massiques en isotopes du plutonium faibles et en diminution constante aussi bien à Moruroa qu'à Fangataufa, bien que les prélèvements ne soient pas systématiquement réalisés dans les mêmes zones.

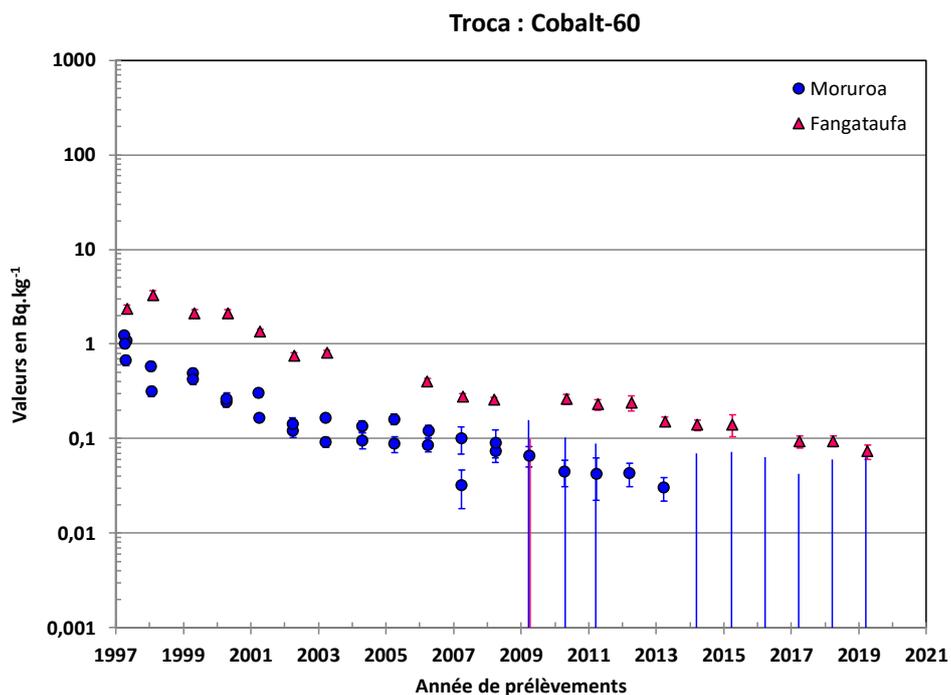


Figure 68. Suivi de l'activité massique du ⁶⁰Co dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

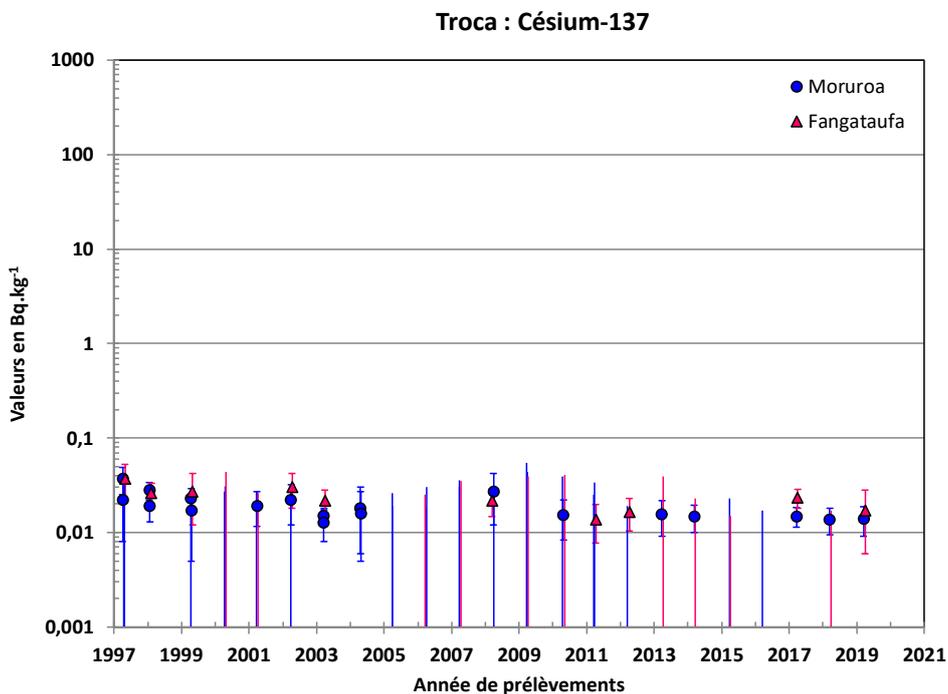


Figure 69. Suivi de l'activité massique du ¹³⁷Cs dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

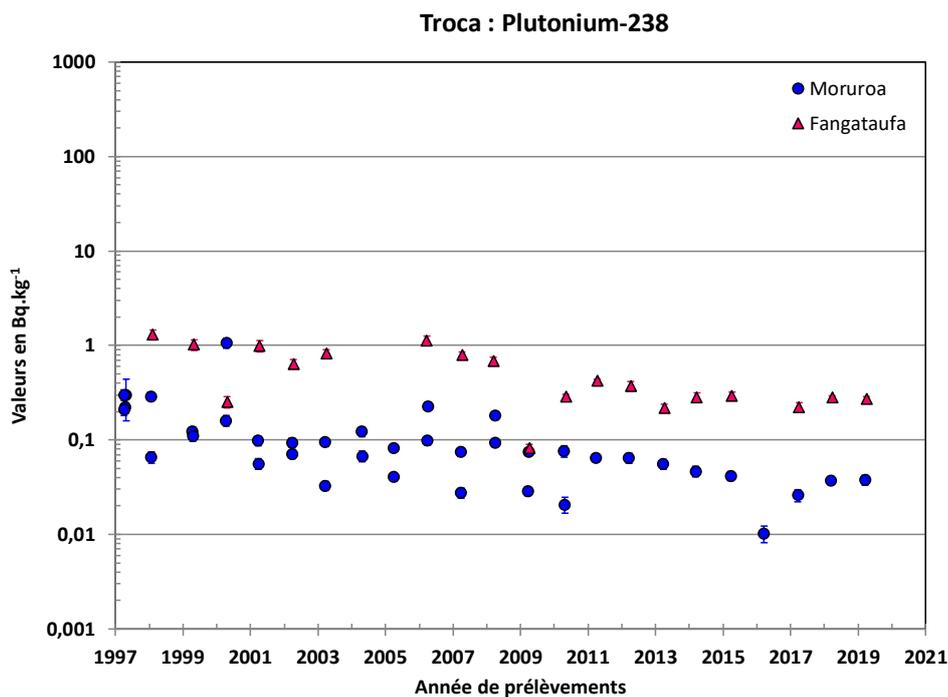


Figure 70. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

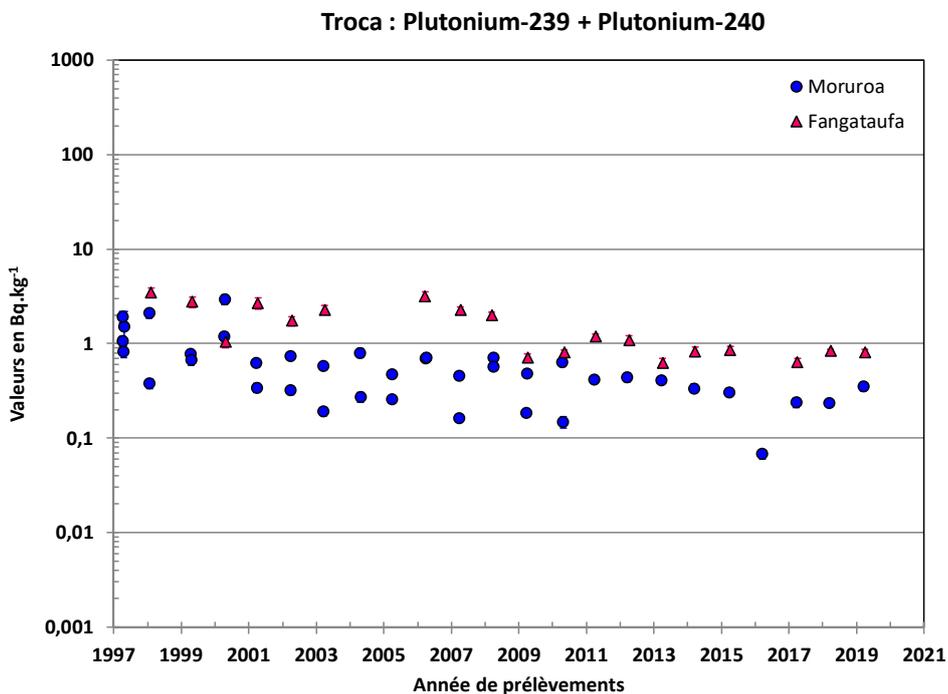


Figure 71. Suivi de l'activité massique du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

4.5 Le poisson chirurgien

Le poisson chirurgien noir ou maïto (*Ctenochaetus striatus*) est un poisson grégaire vivant là où existent des coraux. C'est le plus commun des poissons du lagon. Il se nourrit d'algues filamenteuses. Il peut être la proie de poissons prédateurs, tels que le mérou ou la murène.

Il constitue une espèce de choix pour la surveillance radiologique du milieu marin car il représente l'un des premiers maillons de la chaîne alimentaire marine après celui des algues. Par ailleurs, il est sédentaire, inféodé à un pâté de corail et abondant dans toutes les zones à Moruroa. Il est plus rare à Fangataufa.

4.5.1 Les prélèvements de poisson chirurgien

Le poisson chirurgien est pêché chaque année à Moruroa en zone Est et à Fangataufa en zone Nord (Figure 37, Figure 38 et Figure 72).

La pêche est opérée par des techniciens de prélèvements au moyen de fusils harpon.

La cavité abdominale de chaque poisson pêché est vidée de ses viscères (tube digestif, foie, gonades...). Environ trois kilogrammes de chirurgien éviscéré sont nécessaires pour constituer un prélèvement.



Figure 72. Prélèvement de poisson chirurgien noir.

Les coordonnées des points de prélèvements sont présentées dans le Tableau 33.

Tableau 33. Caractéristiques des prélèvements de poisson chirurgien sur les atolls de Moruroa et Fangataufa en 2019.

Localisation	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa	20/03/2019	21°49,856'	138°47,504'	3 130 g
Fangataufa	09/04/2019	22°15,105'	138°44,907'	3 370 g

4.5.2 Résultats des analyses du poisson chirurgien

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du ^{90}Sr et des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu).

Le ^{40}K est le seul radionucléide d'origine naturelle recherché dans les échantillons.

La mesure du ^{90}Sr n'est effectuée que si la valeur en ^{137}Cs est supérieure à $0,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Dans ce cas, le dosage du ^{90}Sr est alors réalisé par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium-90 (^{90}Y) sur compteur proportionnel bas bruit.

En 2004, 2005 et 2016 les prélèvements sur Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

Le Tableau 34 présente les résultats des analyses effectuées sur les poissons chirurgiens prélevés en 2019 à Moruroa et Fangataufa.

Tableau 34. Activité massique des radionucléides dans le poisson chirurgien prélevé à Moruroa et Fangataufa. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	Radionucléides d'origine				
	Naturelle	Artificielle			
	^{40}K	^{60}Co	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
Fangataufa	$88,5 \pm 6,6$	$0,0368 \pm 0,0083$	$0,074 \pm 0,028$	$0,0394 \pm 0,0048$	$0,1255 \pm 0,0097$
Moruroa	$86,4 \pm 6,3$	$\leq 0,031$	$0,0614 \pm 0,0078$	$0,0083 \pm 0,0022$	$0,0420 \pm 0,0050$

La Figure 73 présente les résultats des analyses effectuées sur les poissons chirurgiens en 2019 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle.

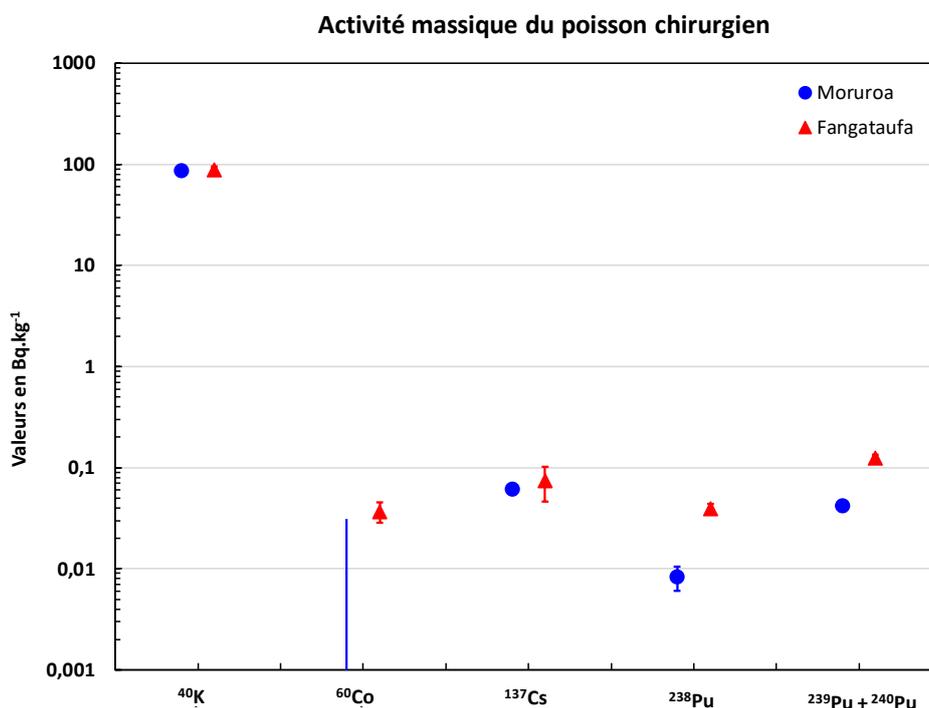


Figure 73. Activité massique des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

En 2019, seule l'activité massique en ^{60}Co dans les poissons chirurgiens à Moruroa est inférieure à la limite de détection des appareils de mesure.

4.5.2.1 Radioactivité d'origine naturelle du poisson chirurgical

La Figure 74 présente le suivi de l'activité massique du ^{40}K des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. L'activité massique en ^{40}K est stable et cohérente avec la valeur attendue.

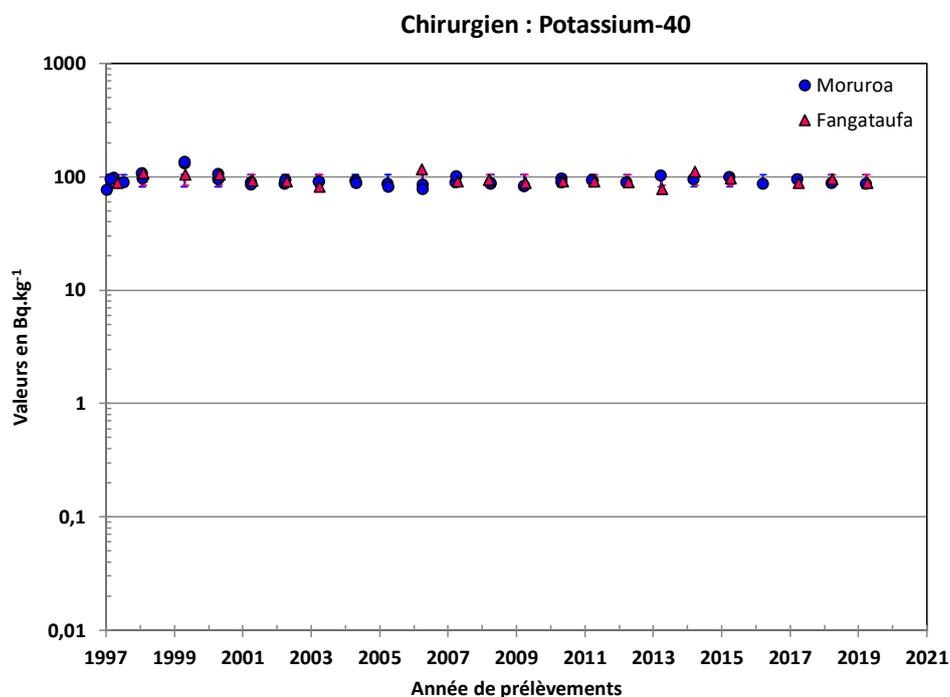


Figure 74. Suivi de l'activité massique du ^{40}K des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

4.5.2.2 Radioactivité d'origine artificielle du poisson chirurgical

Les figures suivantes (Figure 75, Figure 76, Figure 77 et Figure 78) présentent les activités massiques du ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1997 à Moruroa et Fangataufa.

Le suivi des activités massiques en ces radionucléides depuis 1997 montre :

- des activités massiques en ^{60}Co systématiquement inférieures à la limite de détection des appareils de mesure depuis 2010 pour Moruroa et en diminution pour Fangataufa, ce qui est cohérent avec la décroissance naturelle de ce radionucléide après environ quatre périodes de décroissance radioactive,
- des activités massiques en ^{137}Cs faibles et en légère diminution,
- des activités massiques en isotopes du plutonium faibles, peu dispersées et globalement constantes.

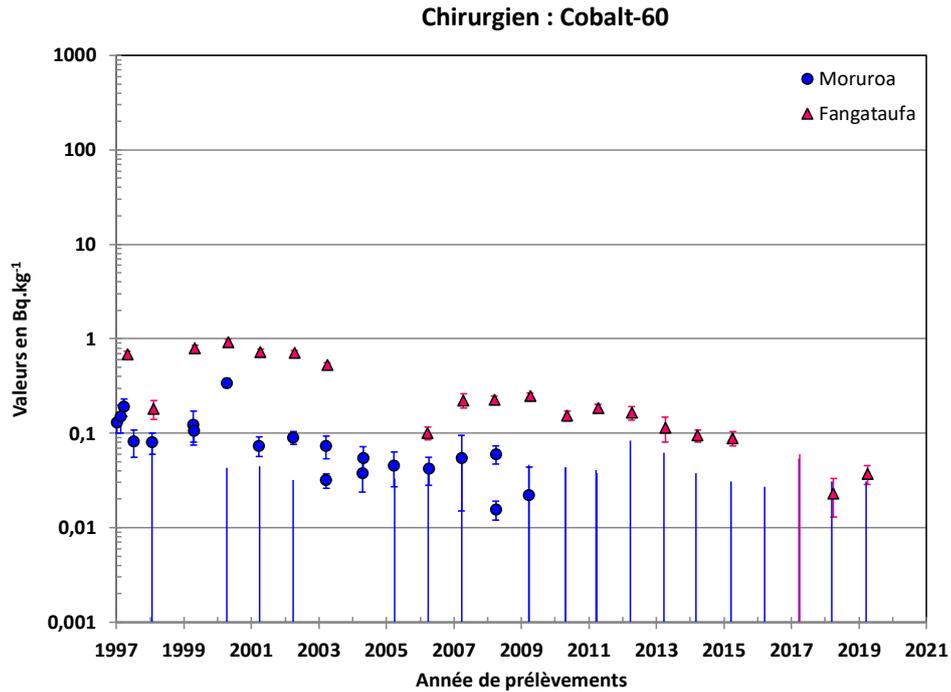


Figure 75. Suivi de l'activité massique du ^{60}Co des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

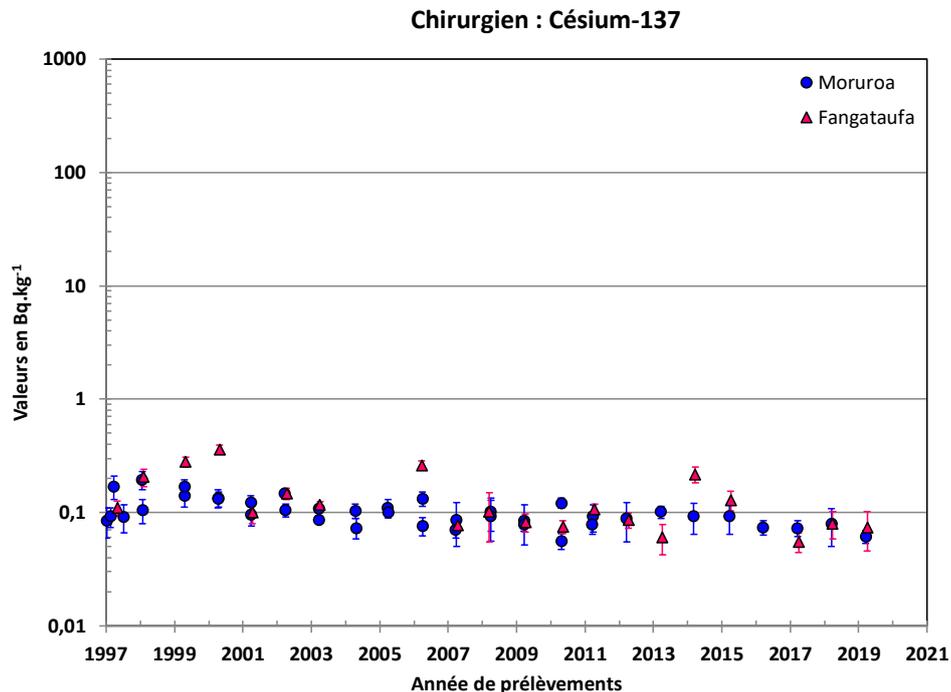


Figure 76. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

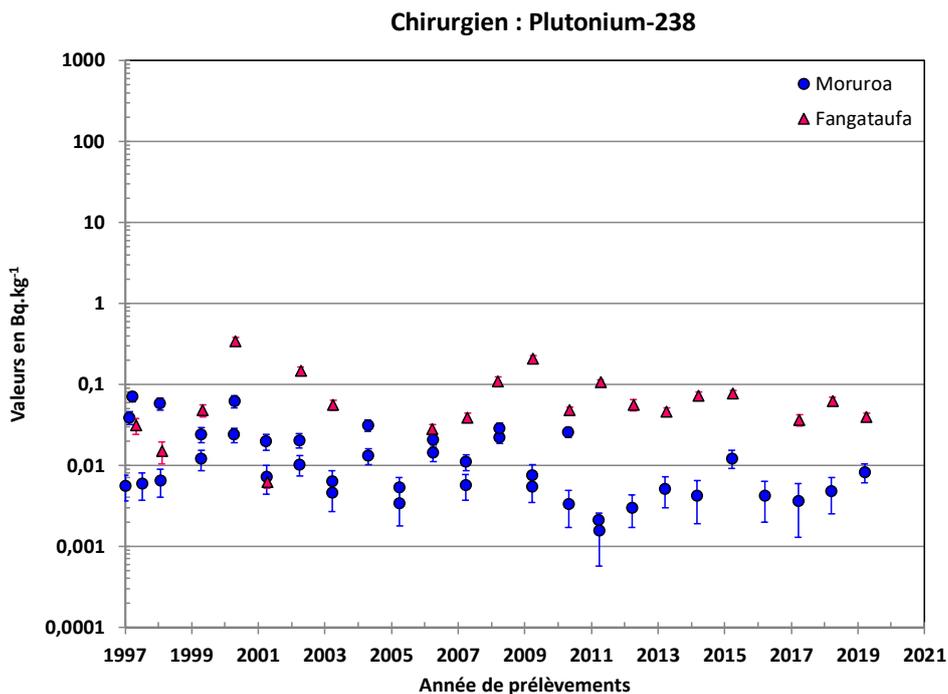


Figure 77. Suivi de l'activité massique du ²³⁸Pu des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

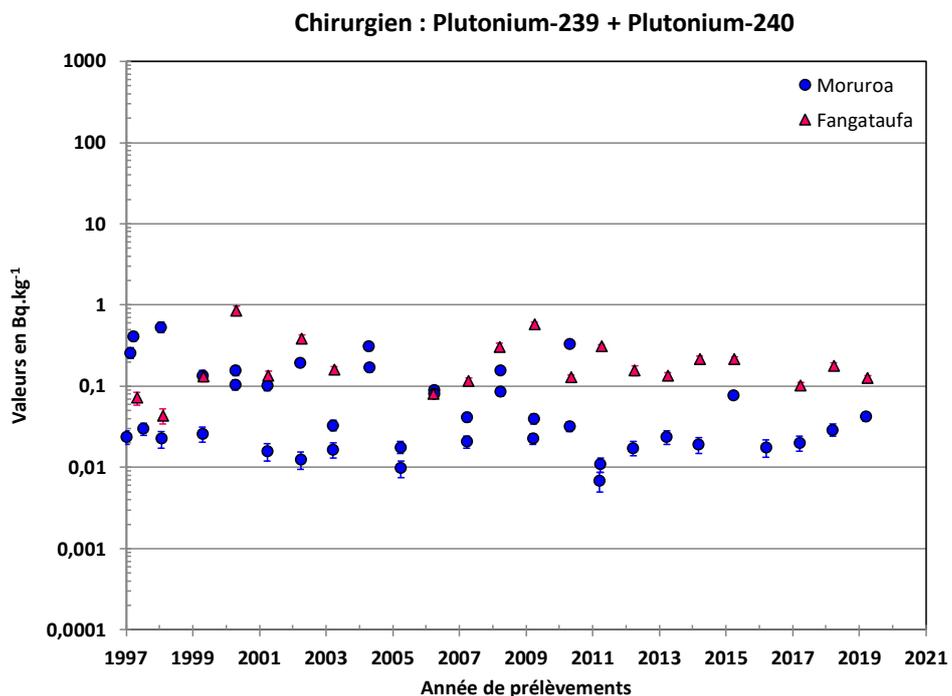


Figure 78. Suivi de l'activité massique du ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

4.6 Le mérou

Trois espèces de mérous peuvent être prélevées : le mérou céleste (*Cephalopholis argus*), la loche crasseuse (*Epinephelus microdon*) et la loche léopard (*Plectropomus leopardus*). Ces trois espèces occupent, dans la chaîne trophique, la place de consommateurs tertiaires et quaternaires selon la nature des proies. Ces carnivores sont des chasseurs à l'affût, vivant dans les anfractuosités des pâtés coralliens. Ils se nourrissent de langoustes, de crabes, de crevettes et de poissons pouvant atteindre de grandes tailles.

4.6.1 Les prélèvements de mérou

La pêche s'effectue chaque année à Moruroa en zone Est et à Fangataufa. Les localisations sont données sur la Figure 37 et Figure 38 pour Moruroa et Fangataufa respectivement.

La pêche est opérée par des techniciens de prélèvements au moyen d'arbalètes sous-marines (Figure 79).

Les poissons sont disséqués afin de prélever les filets jusqu'à l'obtention d'environ trois kilogrammes de chair.



Figure 79. Prélèvement d'un mérou, pêché au fusil harpon.

Les coordonnées des points de prélèvements sont présentées dans le Tableau 35.

Tableau 35. Caractéristiques des prélèvements de mérou à Moruroa et Fangataufa en 2019.

Localisation	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa	20/03/2019	21°49,856'	138°47,504'	3 960 g
Fangataufa	11/04/2019	22°12,053'	138°45,569'	2 520 g

4.6.2 Résultats des analyses du mérrou

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du ^{90}Sr et des isotopes du plutonium (^{238}Pu , $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$).

Le ^{40}K est le seul radionucléide d'origine naturelle recherché dans les échantillons.

En 2004, 2005 et 2016 les prélèvements sur Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

Le Tableau 36 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de mérrou prélevée en 2019 à Moruroa et Fangataufa.

Tableau 36. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle et artificielle dans la chair de mérrou prélevée à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	Radionucléides d'origine					
	Naturelle	Artificielle				
	^{40}K	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
Fangataufa	149 ± 12	$\leq 0,035$	$\leq 0,013$	$0,418 \pm 0,034$	$\leq 7,0 \cdot 10^{-4}$	$\leq 8,9 \cdot 10^{-4}$
Moruroa	143 ± 12	$\leq 0,038$	$\leq 0,013$	$0,241 \pm 0,030$	$\leq 11 \cdot 10^{-4}$	$(9,4 \pm 6,3) \cdot 10^{-4}$

La Figure 80 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de mérrou en 2019 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle.

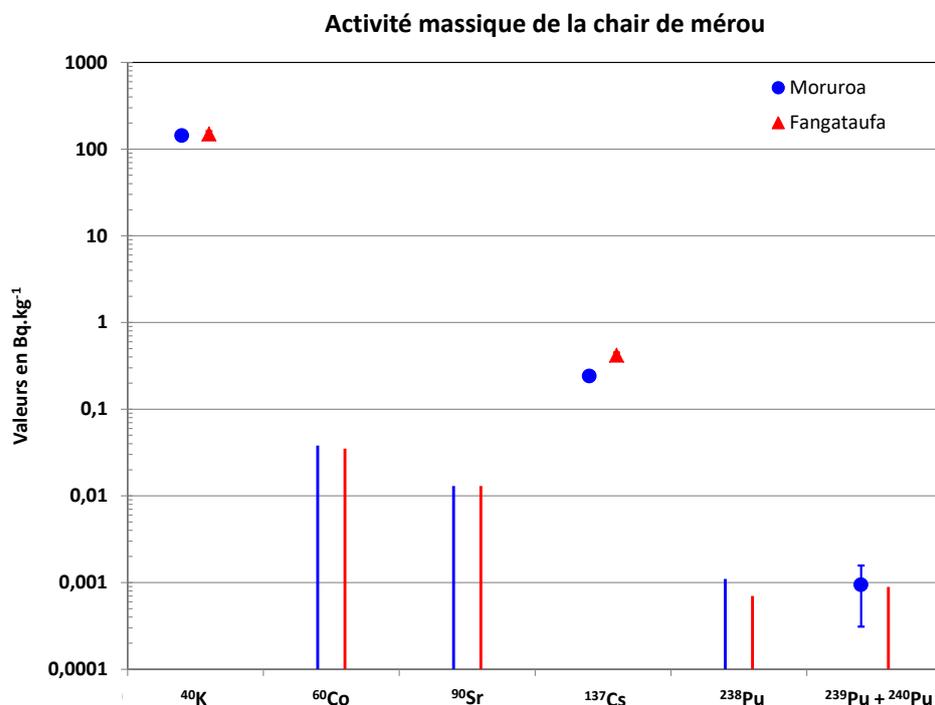


Figure 80. Activité massique de la chair de mérrou à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

En 2019, les activités massiques en ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{238}Pu dans la chair de mérrou sont inférieures à la limite de détection des appareils de mesure à Moruroa et Fangataufa.

4.6.2.1 Radioactivité d'origine naturelle du méro

La Figure 81 présente le suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair de méro à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

L'activité massique du ^{40}K est cohérente avec la valeur attendue et constante depuis 1997.

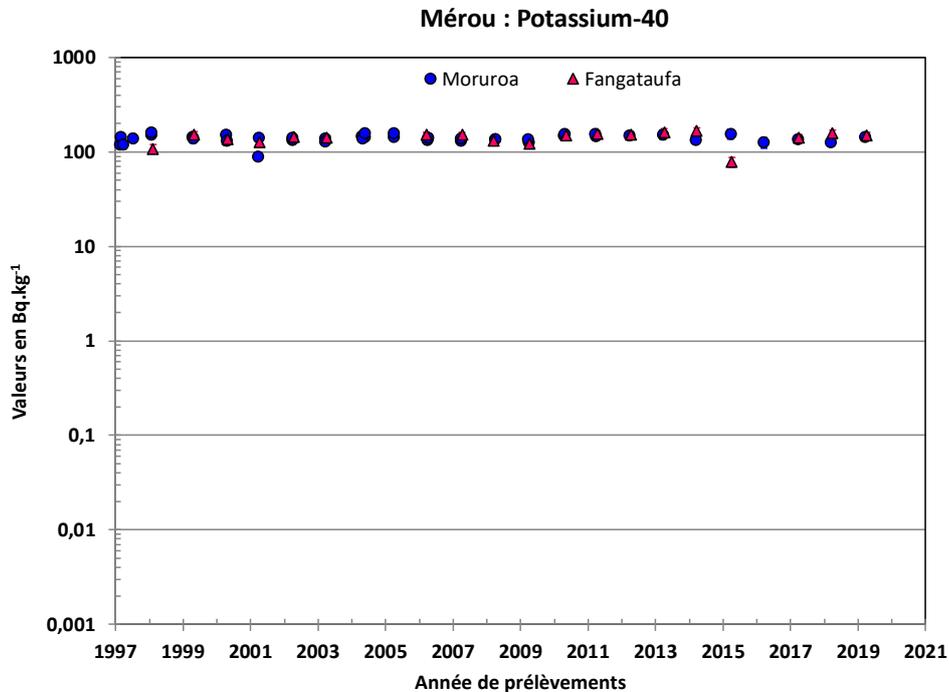


Figure 81. Suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair de méro à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

4.6.2.2 Radioactivité d'origine artificielle du méro

Les figures suivantes (Figure 82, Figure 84, Figure 83, Figure 85 et Figure 86) présentent les activités massiques du ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu et du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1997 à Moruroa et Fangataufa.

Le suivi des activités massiques en ces radionucléides depuis 1997 montre :

- des activités massiques en ^{60}Co systématiquement inférieures à la limite de détection des appareils de mesure depuis 2004, en ^{90}Sr systématiquement inférieures à la limite de détection depuis 1997, en ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ très proches ou sous la limite de détection des appareils de mesure depuis 2001,
- des activités massiques en ^{137}Cs qui varient légèrement mais restent toujours entre 0,1 et 1 Bq.kg^{-1} ,
- Des artefacts de mesures (valeurs du ^{90}Sr en 2016, des ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ en 2001).

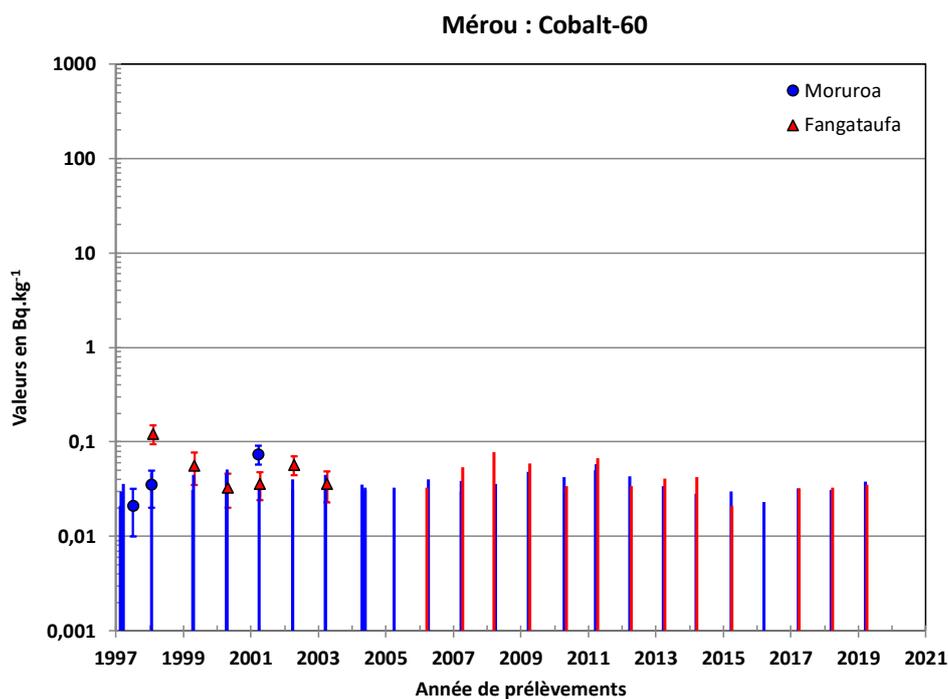


Figure 82. Suivi de l'activité massique du ^{60}Co de la chair de mérou à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

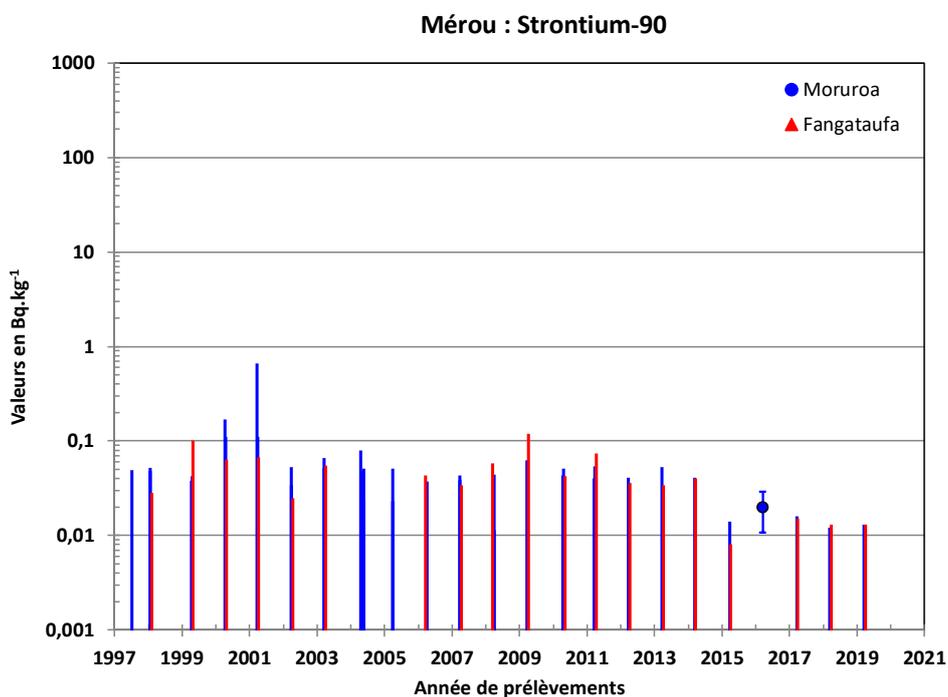


Figure 83. Suivi de l'activité massique du ^{90}Sr de la chair de mérou à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

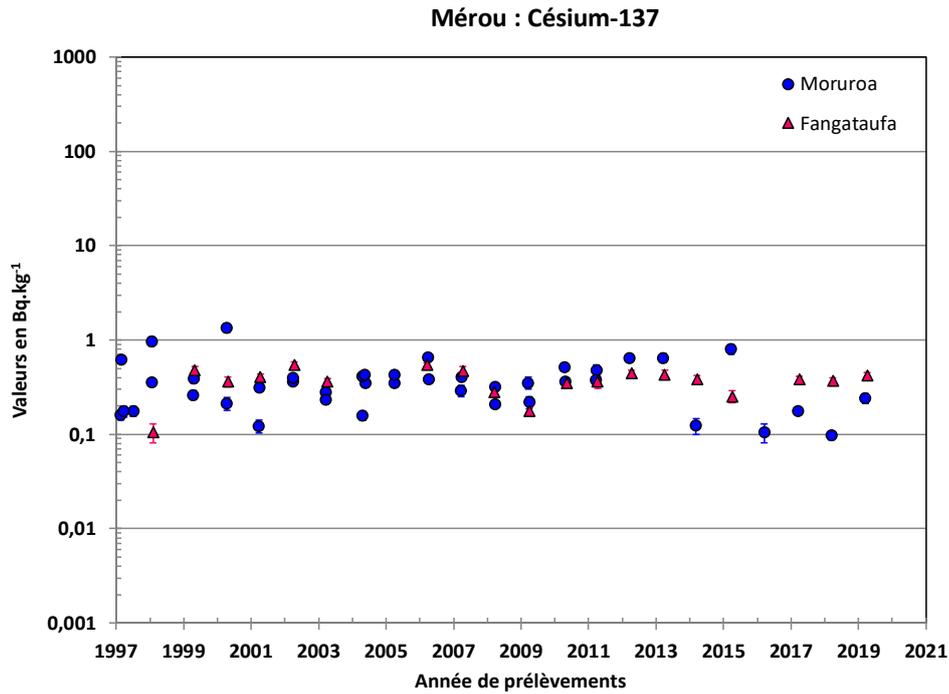


Figure 84. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs de la chair de mérou à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

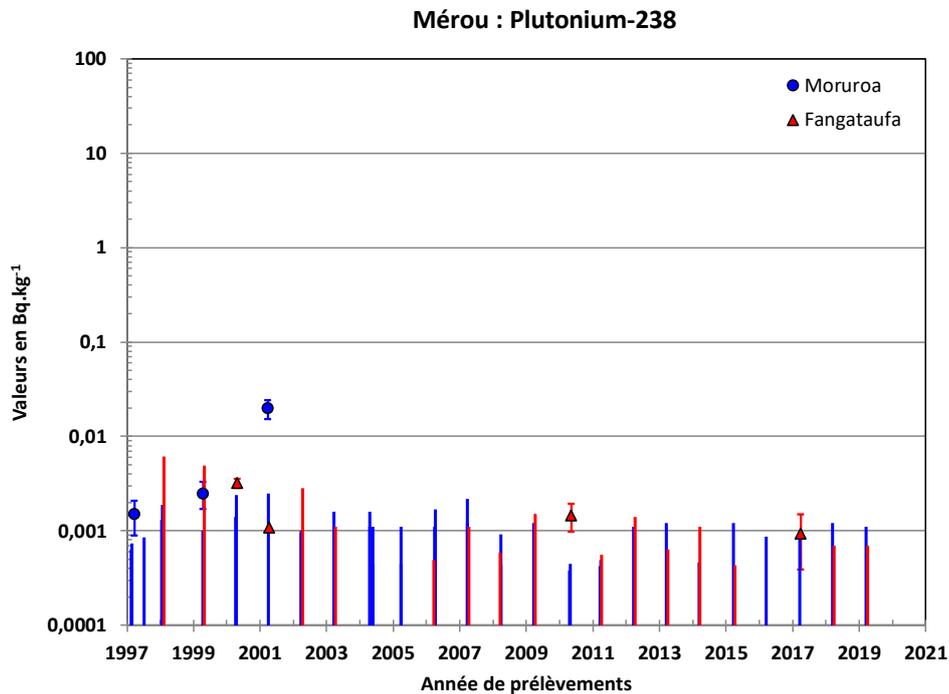


Figure 85. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu de la chair de mérou à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

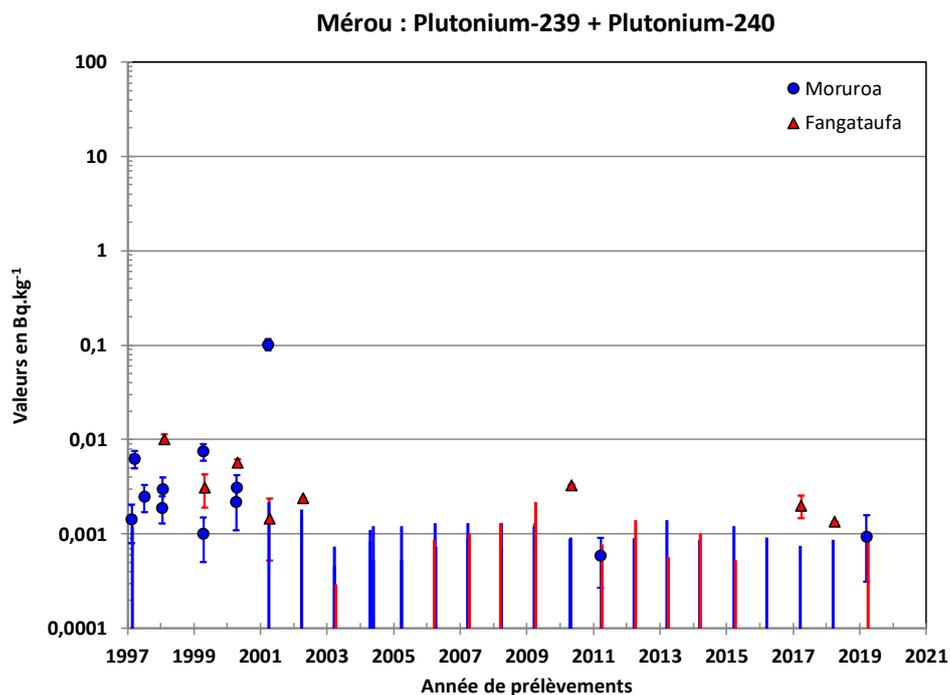


Figure 86. Suivi de l'activité massique du ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu de la chair de mérou à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

5.1 Les eaux des flancs d'atoll

Depuis 2012, la surveillance de la radioactivité des eaux de flancs d'atoll s'exerce exclusivement à Moruroa en zone Nord centrée sur Camélia. Elle est assurée par des prélèvements d'eau océanique à proximité du flanc d'atoll.

5.1.1 Les prélèvements des eaux des flancs d'atoll

Trois radiales de deux prélèvements (notées R1, R2 et R3) à quatre cents et six cents mètres de profondeur sur les isobathes correspondants, sont réalisées (Figure 89). Un volume de deux fois cinquante millilitres est prélevé en chaque point pour la mesure du tritium sous forme d'eau tritiée.



Figure 89. Prélèvement d'eaux de flancs d'atoll par bouteille hydrologique.

Les localisations et les coordonnées des points de prélèvements des radiales sont reportées dans la Figure 87 et la Figure 88, respectivement pour Moruroa et Fangataufa ainsi que dans le Tableau 37.

Tableau 37. Caractéristiques des prélèvements d'eaux de flancs d'atoll en 2019.

Localisation		Profondeur	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa secteur 2	R1	400 m	22/03/2019	21°47,188'	138°51,158'	2 x 50 mL
		600 m		21°47,030'	138°51,030'	
	R2	400 m		21°47,914'	138°50,116'	
		600 m		21°47,819'	138°50,000'	
	R3	400 m		21°47,523'	138°50,487'	
		600 m		21°47,636'	138°50,617'	

5.1.2 Résultats des analyses des eaux des flancs d'atoll

Les résultats des analyses faites sur les prélèvements d'eaux de flancs d'atoll en 2019 sont présentés dans le Tableau 38.

Tableau 38. Activité volumique des prélèvements d'eaux des flancs de l'atoll en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Localisation	Radiale	Profondeur	HTO
Moruroa secteur 2	R1	400 m	≤ 0,5
		600 m	≤ 0,5
	R2	400 m	≤ 0,5
		600 m	≤ 0,5
	R3	400 m	≤ 0,5
		600 m	≤ 0,5

Les activités volumiques mesurées en 2019 sont, comme les années antérieures, inférieures à la limite de détection des appareils de mesure. Aucune activité n'est décelée à ces profondeurs depuis 2002.

5.2 Le turbo soyeux

Le turbo (*Turbo setosus*) est un gastéropode herbivore très répandu en Polynésie française. Il vit sur la crête algale du récif extérieur. Il se nourrit de petits gazons d'algues qui se développent dans les anfractuosités du récif.

5.2.1 Les prélèvements de turbo soyeux

Ce prélèvement est réalisé chaque année à Moruroa et à Fangataufa. Les localisations des prélèvements sont données à Moruroa dans la Figure 87 et dans la Figure 88 pour Fangataufa.

Ce gastéropode se ramasse à pied sur le front du récif externe à marée basse. Les coquilles sont cassées pour en extraire l'animal. Seuls les muscles du pied (appelés par convention chair) sont conservés jusqu'à l'obtention d'environ deux kilogrammes (Figure 90).

Les coordonnées des points de prélèvements à Moruroa et Fangataufa sont présentées dans le Tableau 39.

Tableau 39. Caractéristiques des prélèvements de turbo soyeux en 2019.

Localisation	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa	21/03/2019	21°50,771'	138°47,927'	2 125 g
Fangataufa	09/04/2019	22°12,126'	138°45,814'	3 300 g



Figure 90. Chair de turbos soyeux.

5.2.2 Résultats des analyses de turbo soyeux

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du ^{90}Sr et des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu).

Le ^{40}K est le seul radionucléide d'origine naturelle recherché dans les échantillons.

En 2004, 2005 et 2016 les prélèvements sur Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

Le Tableau 40 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de turbo soyeux prélevée en 2019 à Moruroa et Fangataufa.

Tableau 40. Activité massique de la chair de turbo soyeux en 2019 à Moruroa et Fangataufa. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

Localisation	Radionucléides d'origine					
	Naturelle	Artificielle				
	⁴⁰ K	⁶⁰ Co	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
Fangataufa	93,7 ± 8,0	≤ 0,034	≤ 0,021	0,0144 ± 0,0051	(633 ± 57).10 ⁻⁴	(1960 ± 130).10 ⁻⁴
Moruroa	91,8 ± 7,5	≤ 0,036	≤ 0,021	0,0131 ± 0,0060	(14,3 ± 8,2).10 ⁻⁴	(140 ± 24).10 ⁻⁴

La Figure 91 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de turbo soyeux en 2019 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle.

En 2019, les activités massiques en ⁶⁰Co et ⁹⁰Sr sont sous les limites de détection des appareils de mesure.

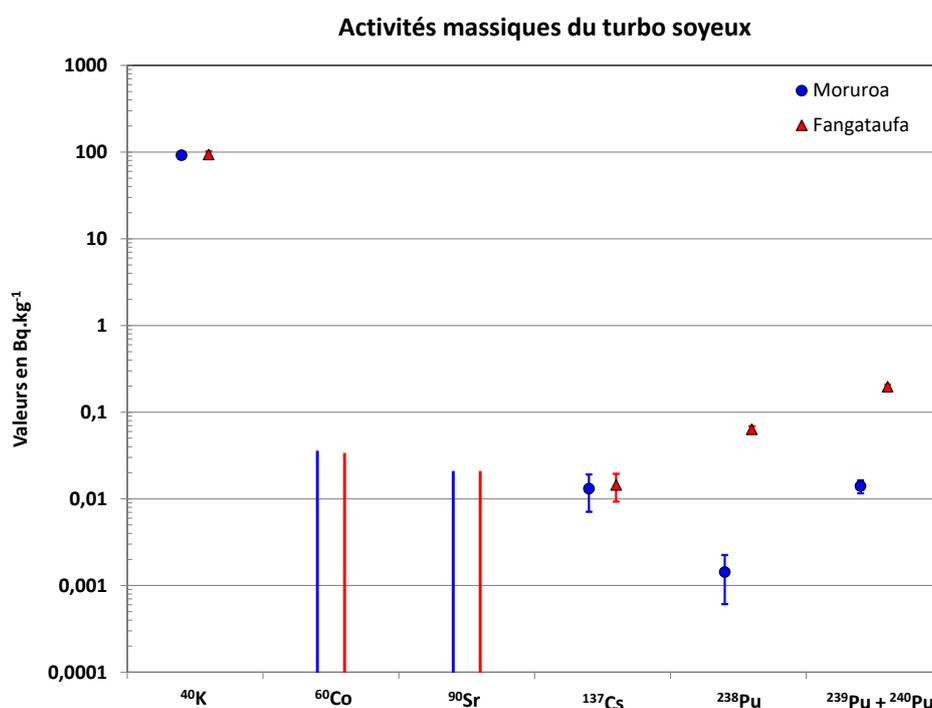


Figure 91. Activité massique de la chair de turbo soyeux à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

5.2.2.1 Radioactivité d'origine naturelle du turbo soyeux

La Figure 92 présente le suivi de l'activité massique du ⁴⁰K de la chair des turbos soyeux à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. La concentration du potassium présent dans les milieux vivants étant constante, l'activité massique en ⁴⁰K est donc stable. Les résultats d'analyse sont cohérents avec la valeur attendue. Aussi les valeurs basses en 1997 et 2006 ne peuvent s'expliquer que par des artéfacts de mesure.

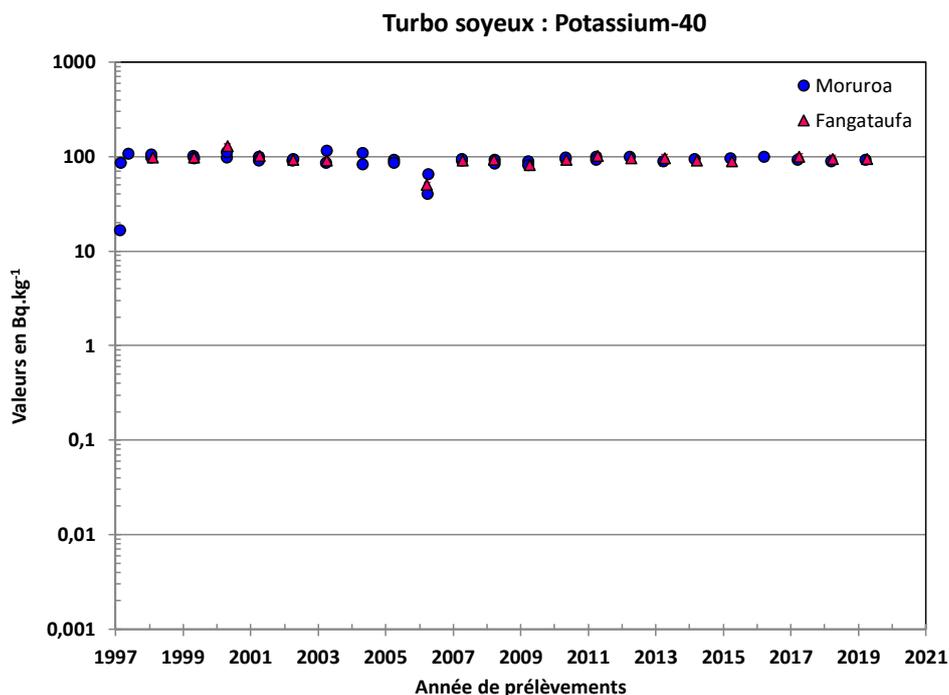


Figure 92. Suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair des turbos soyeux à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

5.2.2.2 Radioactivité d'origine artificielle du turbo soyeux

Les figures suivantes (Figure 93, Figure 94 et Figure 95) présentent les activités massiques du ^{137}Cs , ^{238}Pu et du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1997 à Moruroa et Fangataufa.

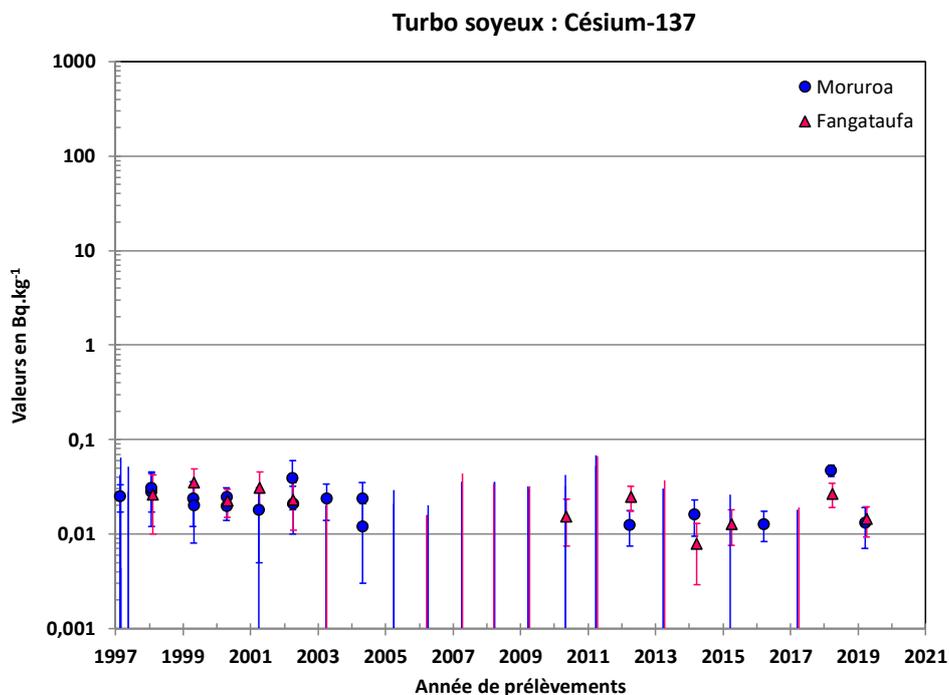


Figure 93. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs de la chair des turbos soyeux à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

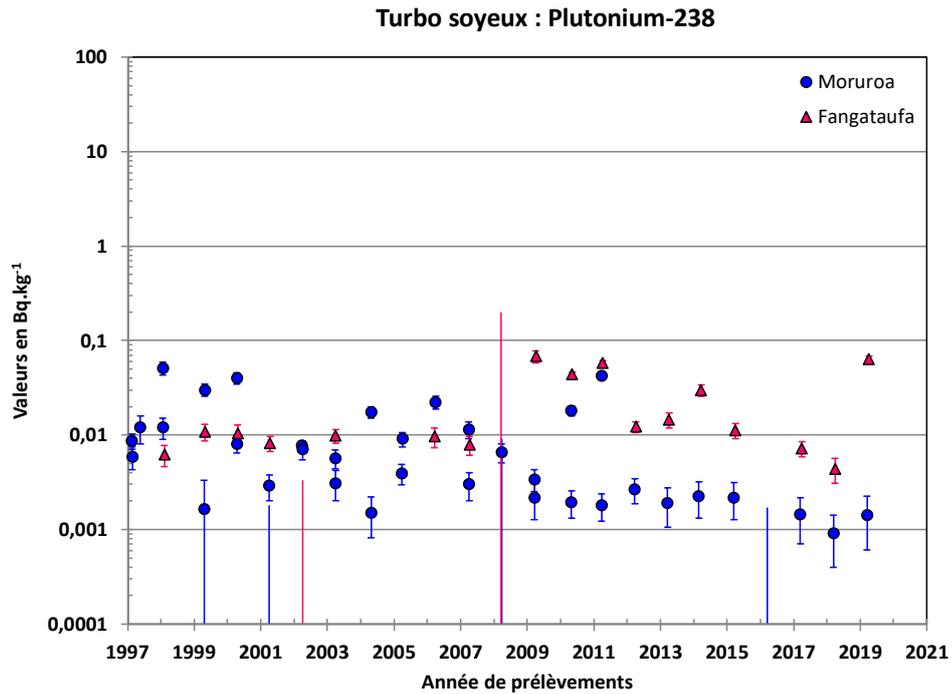


Figure 94. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu de la chair des turbos soyeux à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

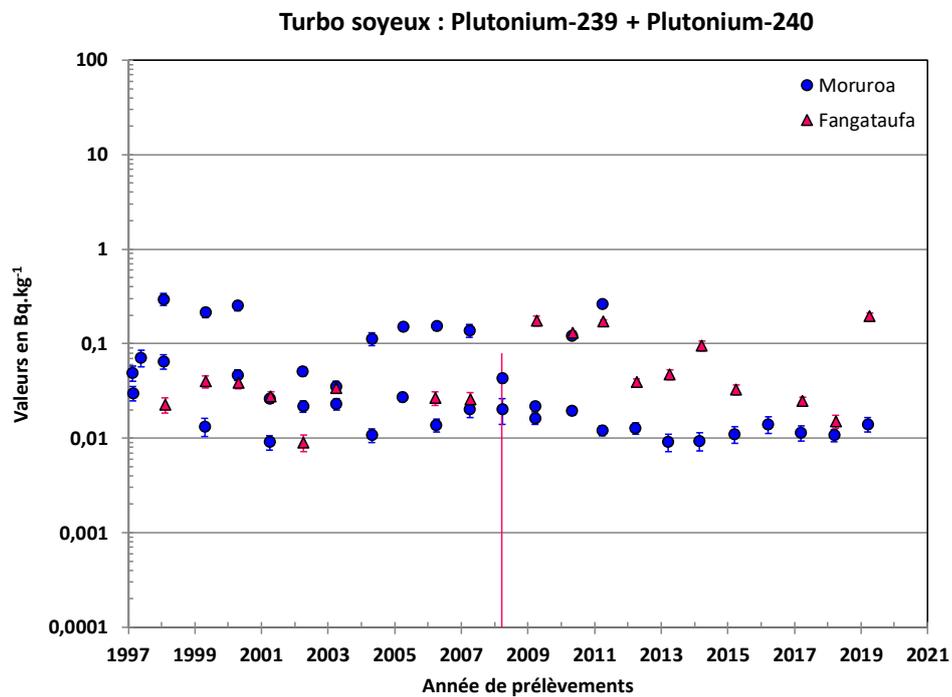


Figure 95. Suivi de l'activité massique du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ de la chair des turbos soyeux à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Le suivi des activités massiques en radionucléides artificiels depuis 1997 montre :

- des activités massiques en ^{137}Cs très proches ou inférieures à la limite de détection de l'appareil de mesure,
- des activités massiques en isotopes du plutonium globalement stables.

5.3 Le plancton océanique des flancs d'atoll

Le plancton des eaux océaniques polynésiennes se caractérise par une faible biomasse et un grand nombre d'espèces. Ce plancton tropical ne présente pas de particularité faunistique notable mais cette variabilité des espèces collectées peut engendrer une dispersion notable des valeurs mesurées.

5.3.1 Les prélèvements de plancton des flancs d'atoll

A Moruroa, le prélèvement est effectué chaque année, aux abords immédiats de l'atoll dans le secteur 2 (Nord-Est) comme le montre la Figure 87. A Fangataufa, le prélèvement qui est réalisé tous les deux ans autour de l'atoll, a été effectué en 2019.

Cinq filets grés sur le même câble tracteur sont mouillés à la tombée de la nuit puis traînés horizontalement entre dix et cinquante mètres de profondeur durant au moins dix heures à vitesse réduite (1 à 1,5 nœud - Figure 96).

Les filets utilisés sont de forme cylindro-conique confectionnés en tissu nylon à mailles dégressives. L'extrémité des filets est munie d'un collecteur en PVC.



Figure 96. Remontée des filets à plancton.

Le trait terminé, les filets et leur collecteur sont rincés à l'eau de mer. Le contenu de chaque collecteur est passé sur deux tamis superposés de mailles 4 mm et 0,1 mm. Les organismes macroplanctoniques, tels que méduses, crevettes, petits crabes, etc., sont rejetés.

La partie planctonique, retenue par le tamis de 0,1 mm, est recueillie pour être égouttée sur un papier absorbant durant trois heures. Environ cinq cents grammes de plancton sont nécessaire pour obtenir un échantillon.

Les coordonnées des points de prélèvements sont présentées dans le Tableau 41.

Tableau 41. Caractéristiques des prélèvements de planctons des flancs d'atoll.

Localisation	Date de prélèvement	Quantités prélevées
Moruroa – secteur 2	23/03/2019	1 000 g
Fangataufa – tour d'atoll	24/03/2019	1 000 g

5.3.2 Résultats des analyses de plancton des flancs d'atoll

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du ^{90}Sr et des isotopes du plutonium (^{238}Pu , $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$). Le ^{40}K est le seul radionucléide d'origine naturelle recherché dans les échantillons. La mesure du ^{90}Sr n'est effectuée que si la valeur en ^{137}Cs est supérieure à la LD. Dans ce cas, le dosage du ^{90}Sr est alors réalisé par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium-90 (^{90}Y) sur compteur proportionnel bas bruit.

En 2004, 2005 et 2016 les prélèvements sur Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

Le Tableau 42 présente les résultats des analyses effectuées sur le plancton des flancs d'atoll prélevé en 2019 autour de Moruroa et autour de Fangataufa.

Tableau 42. Activité massique des radionucléides dans le plancton des flancs d'atoll prélevé autour de Moruroa en 2019 et de Fangataufa en 2017. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	Radionucléides d'origine				
	Naturelle	Artificielle			
	^{40}K	^{60}Co	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
Moruroa - Secteur 2	$35,2 \pm 3,1$	$\leq 0,046$	$\leq 0,026$	$0,0843 \pm 0,0082$	$11,90 \pm 0,60$
Fangataufa – tour d'atoll	$29,7 \pm 2,5$	$\leq 0,054$	$\leq 0,030$	$0,0217 \pm 0,0039$	$0,134 \pm 0,011$

La Figure 97 présente les résultats des analyses effectuées sur le plancton de flancs d'atoll en 2019 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle. Les activités massiques en ^{60}Co et ^{137}Cs sont inférieures aux limites de détection des appareils de mesure en 2019.

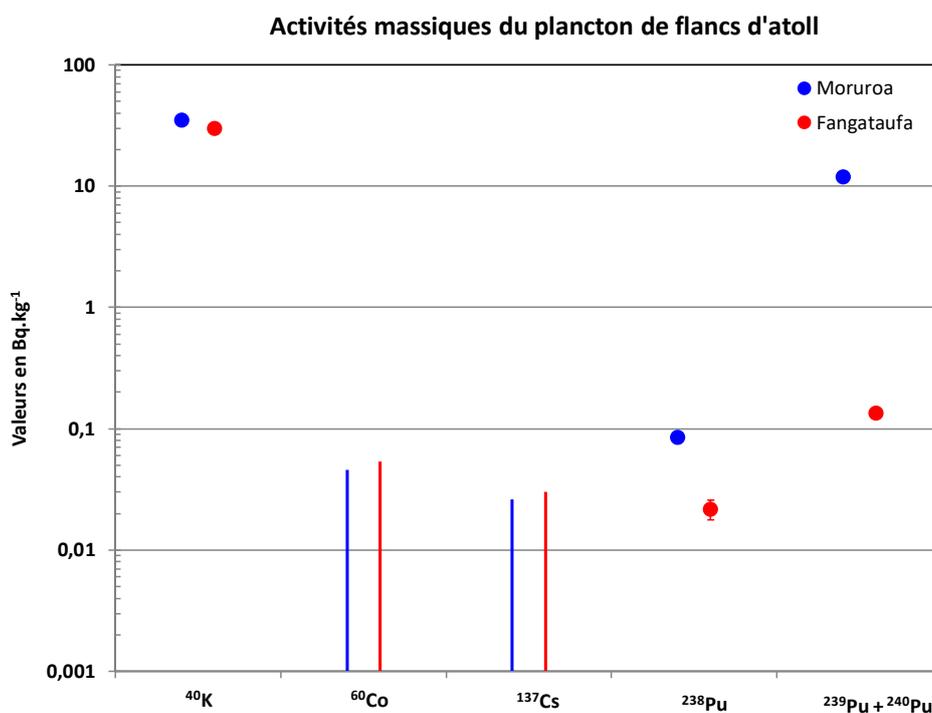


Figure 97. Activité massique du plancton de flancs d'atoll autour de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

5.3.2.1 Radioactivité d'origine naturelle du plancton des flancs d'atoll

La Figure 98 présente le suivi de l'activité massique du ⁴⁰K des planctons des flancs d'atoll autour de Moruroa et Fangataufa depuis 1997.

L'activité massique en ⁴⁰K est stable depuis 1997 et cohérente avec la valeur attendue.

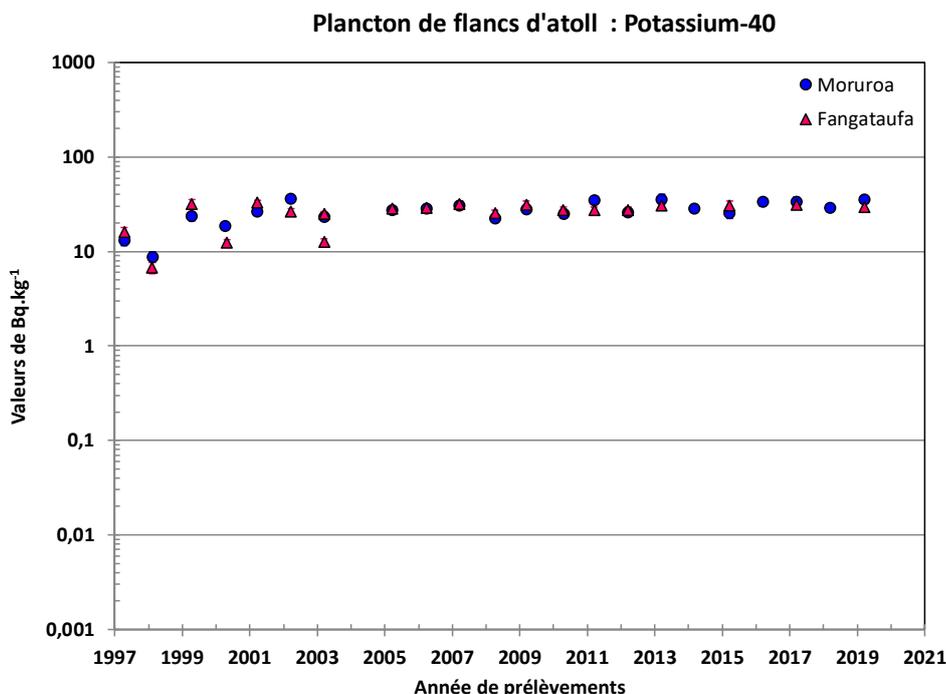


Figure 98. Suivi de l'activité massique du ⁴⁰K des planctons des flancs d'atoll autour de Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

5.3.2.2 Radioactivité d'origine artificielle du plancton des flancs d'atoll

Les figures suivantes (Figure 99, Figure 100 et Figure 101) présentent les activités massiques du ⁶⁰Co, ²³⁸Pu et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu depuis 1997 autour de Moruroa et Fangataufa.

Comme les années précédentes, les mesures en ¹³⁷Cs sont, pour le plancton des flancs d'atoll, inférieures à la limite de détection des appareils de mesures. Le graphique de suivi du ¹³⁷Cs n'est pas présenté.

Le suivi des activités massiques en radionucléides artificiels depuis 1997 montre :

- des activités massiques en ⁶⁰Co systématiquement inférieures à la limite de détection de l'appareil de mesure depuis 2007, aussi bien à Moruroa qu'à Fangataufa,
- des activités massiques en isotopes du plutonium 10 à 100 fois plus faibles que celles mesurées sur le plancton des lagons de Moruroa et Fangataufa, à l'exception de la valeur en ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu sur le plancton réalisé en 2019 au niveau de la zone nord de Moruroa, pour laquelle une activité massique équivalente à celles mesurées sur le plancton du lagon est obtenue. Cette valeur pourrait s'expliquer par le fait que le trait de plancton au niveau des flancs d'atoll a été réalisé partiellement face à la passe de Moruroa.

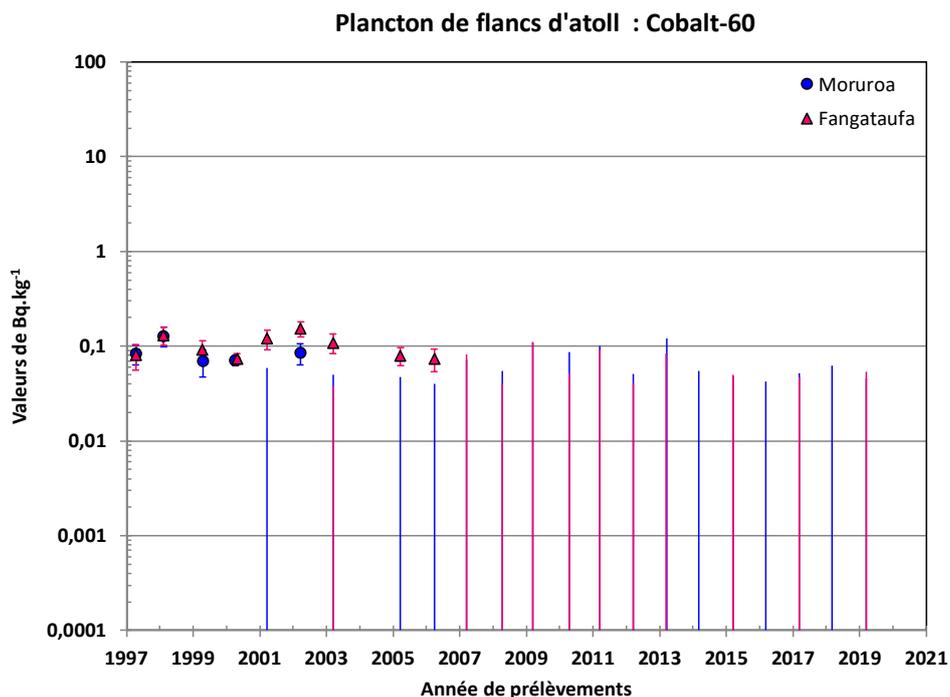


Figure 99. Suivi de l'activité massique du ⁶⁰Co des planctons des flancs d'atoll autour de Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

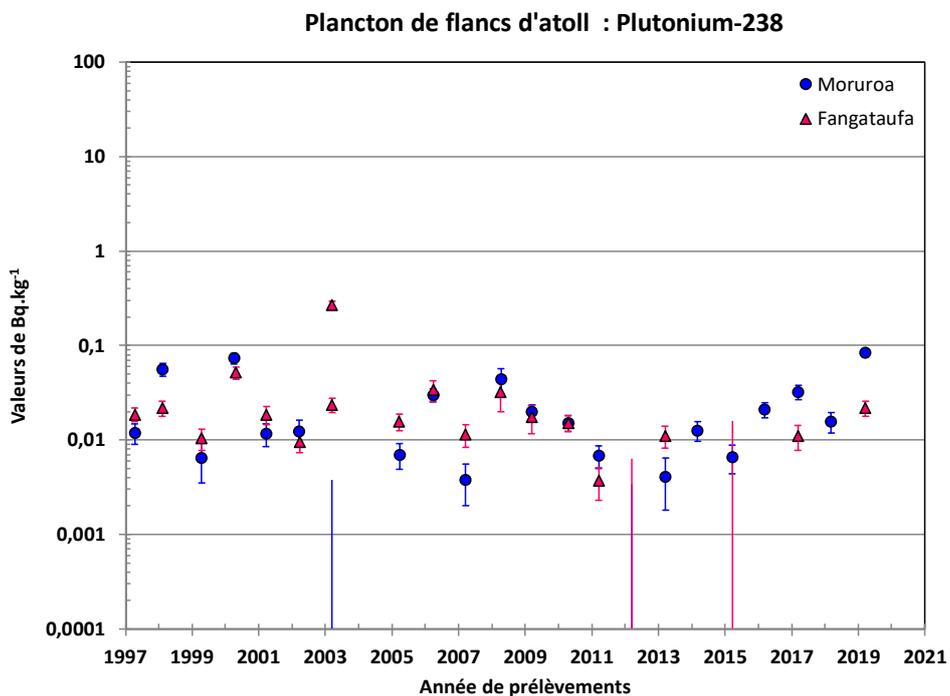


Figure 100. Suivi de l'activité massique du ²³⁸Pu des planctons des flancs d'atoll autour de Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

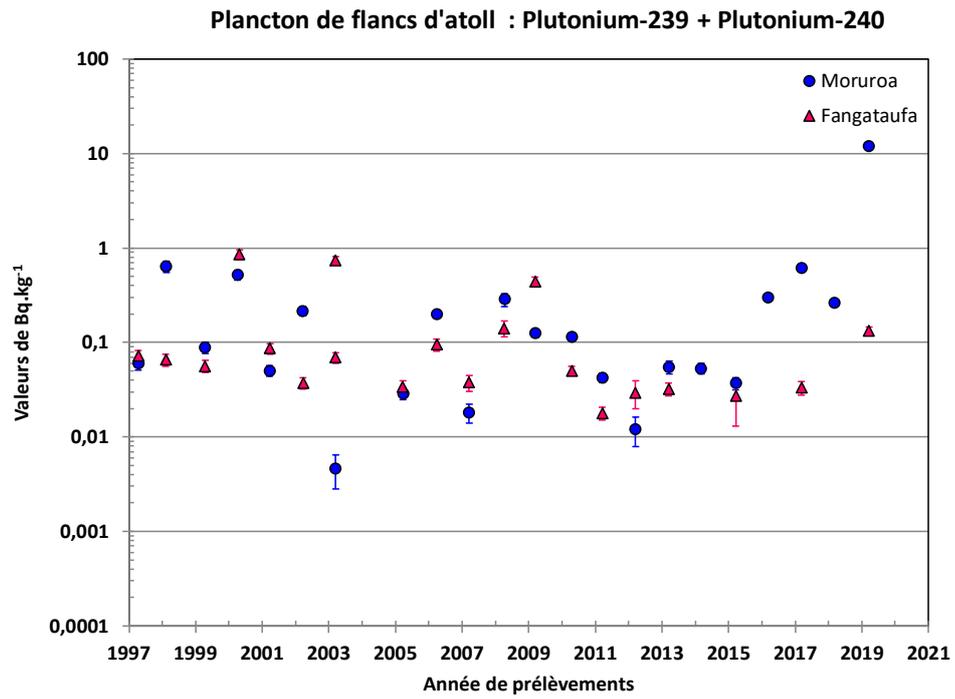


Figure 101. Suivi de l'activité massique du ^{239}Pu + ^{240}Pu des planctons des flancs d'atoll autour de Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

5.4 Les crevettes de profondeur

Les crevettes de profondeur comprennent plusieurs espèces de la famille des Pandalidae (*Plesionika* sp., *Heterocarpus* sp.).

5.4.1 Les prélèvements des crevettes de profondeur

Les prélèvements sont effectués annuellement à environ six cents mètres du platier externe, au Nord-Est de Moruroa, au droit de la zone Camélia, dans le secteur 2. Les localisations sont données sur la Figure 87.

Les crevettes sont pêchées selon les techniques traditionnelles de la pêche aux casiers. Les casiers de type « Noirmoutier » sont montés en filière par groupe de dix. Deux filières sont mouillées parallèlement au rivage entre 550 et 600 mètres de fond. Posés dans la matinée, les casiers sont relevés le jour suivant. Ces opérations nécessitent une mer calme.

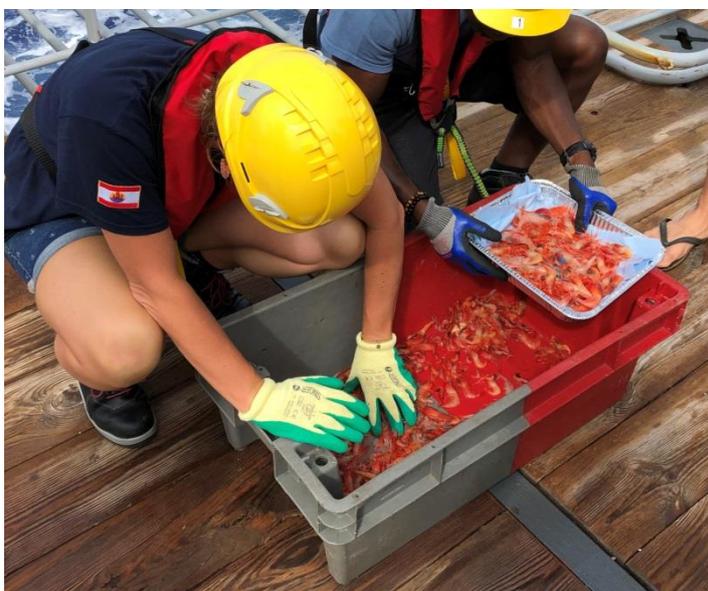


Figure 102. Prélèvement de crevettes.

Les crevettes entières (sans distinction d'espèce) sont égouttées et pesées. Environ trois kilogrammes sont nécessaires aux mesures (Figure 102).

Le Tableau 43 présente les coordonnées des points de prélèvements des crevettes autour de Moruroa.

Tableau 43. Caractéristiques des prélèvements de crevettes de profondeur.

Localisation	Filière	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa Secteur 2	C1	23/03/2019	21°47,901'	138°49,815'	3 100 g
			21°47,991'	138°49,448'	
	C2		21°48,166'	138°47,607'	
			21°48,460'	138°47,251'	

5.4.2 Résultats des analyses des crevettes de profondeur

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu). Le ^{40}K est le seul radionucléide d'origine naturelle recherché dans les échantillons.

Le Tableau 44 présente les résultats des analyses effectuées sur les crevettes de profondeur pêchées en 2019 autour de Moruroa.

Tableau 44. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle et artificielle dans les crevettes de profondeur pêchées autour de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	Radionucléides d'origine				
	Naturelle	Artificielle			
	^{40}K	^{60}Co	^{137}Cs	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu
Moruroa Secteur 2	$70,5 \pm 5,4$	$\leq 0,030$	$0,0180 \pm 0,0051$	$\leq 0,0032$	$0,0080 \pm 0,0027$

La Figure 103 présente les résultats des analyses effectuées sur les crevettes de profondeur en 2019 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle.

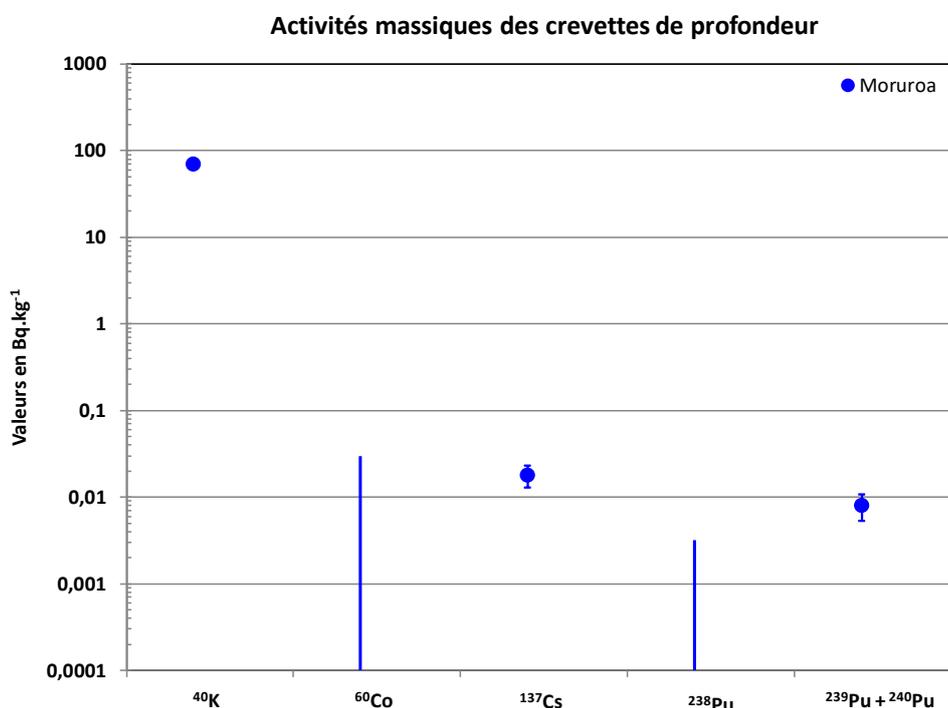


Figure 103. Activité massique des crevettes de profondeur autour de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

En 2019, les activités massiques en ^{60}Co et en ^{238}Pu sont inférieures à la limite de détection des appareils de mesure.

5.4.2.1 Radioactivité d'origine naturelle des crevettes de profondeur

La Figure 104 présente le suivi de l'activité massique du ^{40}K des crevettes de profondeur à Moruroa depuis 1997.

L'activité massique en ^{40}K est stable depuis 1997 et cohérente avec la valeur attendue.

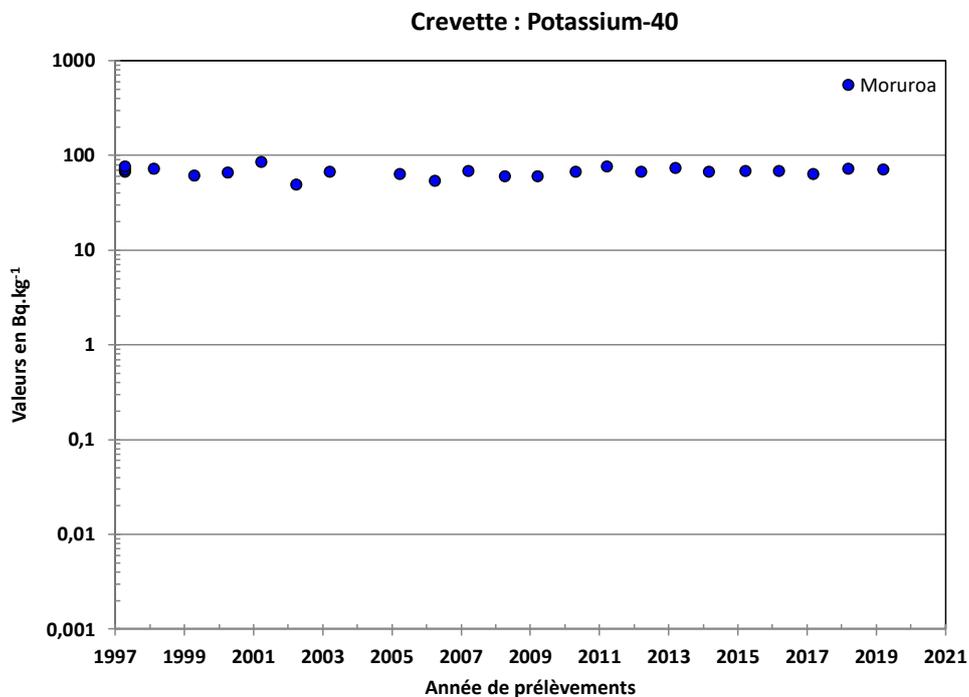


Figure 104. Suivi de l'activité massique du ^{40}K des crevettes de profondeur à Moruroa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

5.4.2.2 Radioactivité d'origine artificielle des crevettes de profondeur

Les figures suivantes (Figure 105, Figure 106 et Figure 107) présentent les activités massiques du ^{137}Cs , ^{238}Pu et du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ au niveau du flanc externe Nord-Est de l'atoll de Moruroa.

Le suivi des activités massiques en radionucléides artificiels depuis 1997 montre :

- des activités massiques en ^{137}Cs et ^{238}Pu proches ou inférieures à la limite de détection des appareils de mesure,
- des activités massiques en $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ faibles et relativement stables.

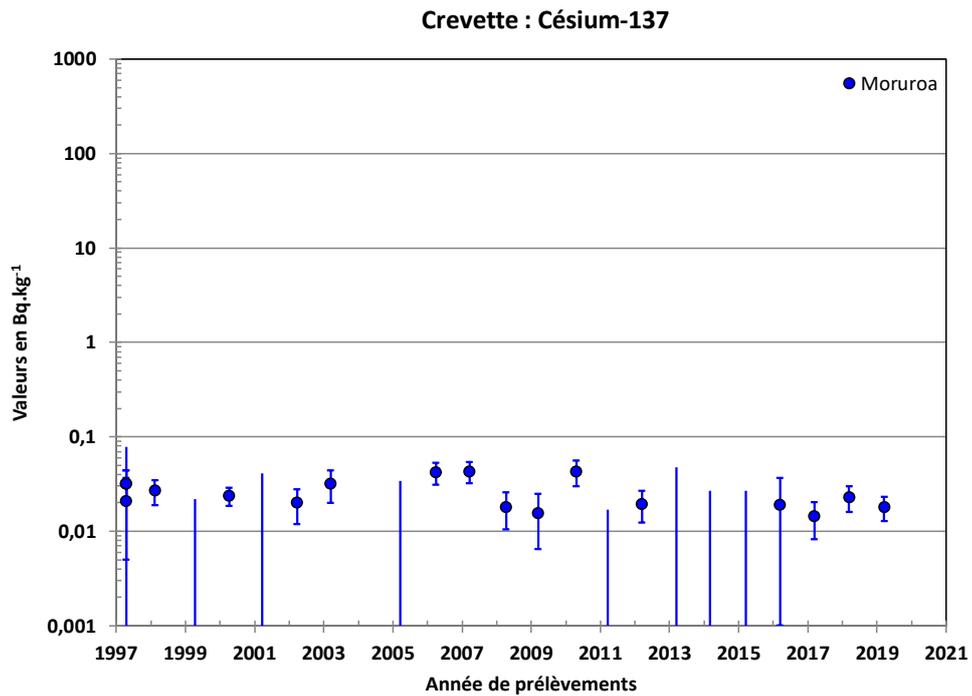


Figure 105. Suivi de l'activité massique du ¹³⁷Cs des crevettes de profondeur à Moruroa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

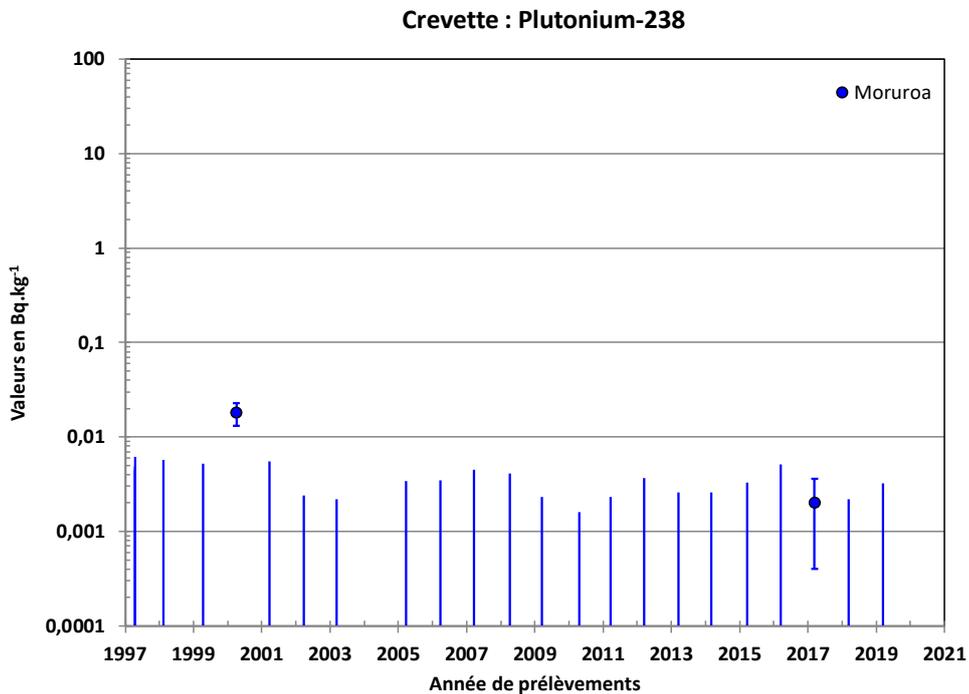


Figure 106. Suivi de l'activité massique du ²³⁸Pu des crevettes de profondeur à Moruroa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

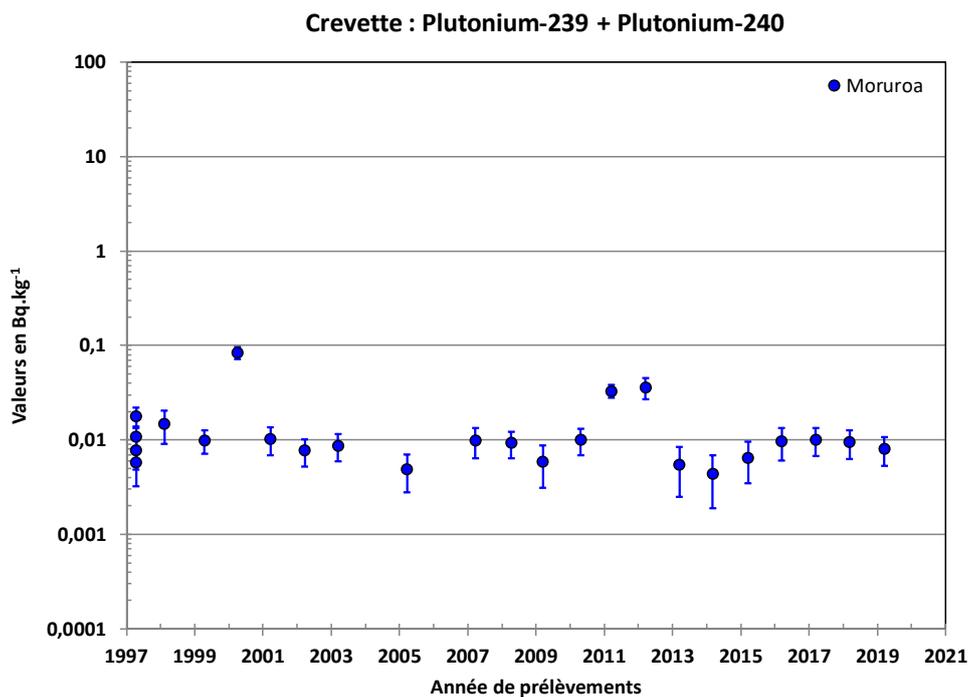


Figure 107. Suivi de l'activité massique du ^{239}Pu + ^{240}Pu des crevettes de profondeur à Moruroa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

5.5 Les poissons pélagiques côtiers

Les poissons pélagiques côtiers comportent des espèces très répandues en Polynésie française. Le thon à dents de chien ou gymnosarde (*Gymnosarda unicolor*) est l'espèce qui constitue le prélèvement. La gymnosarde est facilement reconnaissable à sa mâchoire armée de fortes dents qui lui a valu d'être appelé thon à dents de chien. C'est un poisson de surface, « sédentaire », à forte affinité côtière. Il rentre souvent dans les lagons pour y chasser. Il est rarement consommé car il peut être toxique (présence de toxines responsables de la ciguatera).

5.5.1 Les prélèvements de poissons pélagiques côtiers

L'édition 2013 du guide de surveillance radiologique des atolls de Moruroa et de Fangataufa prévoit des prélèvements tous les ans sur les deux sites.

La pêche de la gymnosarde s'effectue à la traîne avec des leurres armés d'un hameçon double. Les lignes sont remorquées en surface à la vitesse de six à huit nœuds à quelques centaines de mètres des côtes.

Le poisson est découpé pour recueillir les filets jusqu'à l'obtention d'environ trois kilogrammes de chair (Figure 108).



Figure 108. Prélèvement d'un thon à dents de chien.

Les coordonnées des points de prélèvements à Moruroa et Fangataufa sont présentées dans le Tableau 45.

Tableau 45. Caractéristiques des prélèvements de gymnosarde (thon à dents de chien).

Localisation	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa – secteur 4	27/03/2019	21°51,219'	139°00,222'	2 440 g
Fangataufa	10/04/2019	22°12,681'	138°46,877'	3 640 g

5.5.2 Résultats des analyses des poissons pélagiques côtiers

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du ^{90}Sr et des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu). Le ^{40}K est le seul radionucléide d'origine naturelle recherché dans les échantillons. En 2004, 2005 et 2016 les prélèvements sur Fangataufa n'ont pu être réalisés du fait de l'indisponibilité du bâtiment de soutien.

Le Tableau 46 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de gymnosarde pêchée en 2019 à Moruroa et Fangataufa.

Tableau 46. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle et artificielle dans la chair de gymnosarde pêchée à Moruroa et Fangataufa. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	Radionucléides d'origine					
	Naturelle	Artificielle				
	^{40}K	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs	^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
Moruroa Secteur 4	148 ± 13	$\leq 0,037$	$\leq 0,016$	$0,188 \pm 0,022$	$\leq 11.10^{-4}$	$\leq 12.10^{-4}$
Fangataufa	151 ± 13	$\leq 0,038$	$\leq 0,020$	$0,169 \pm 0,016$	$\leq 11.10^{-4}$	$\leq 8,5.10^{-4}$

La Figure 109 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de gymnosarde pêchée en 2019 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle.

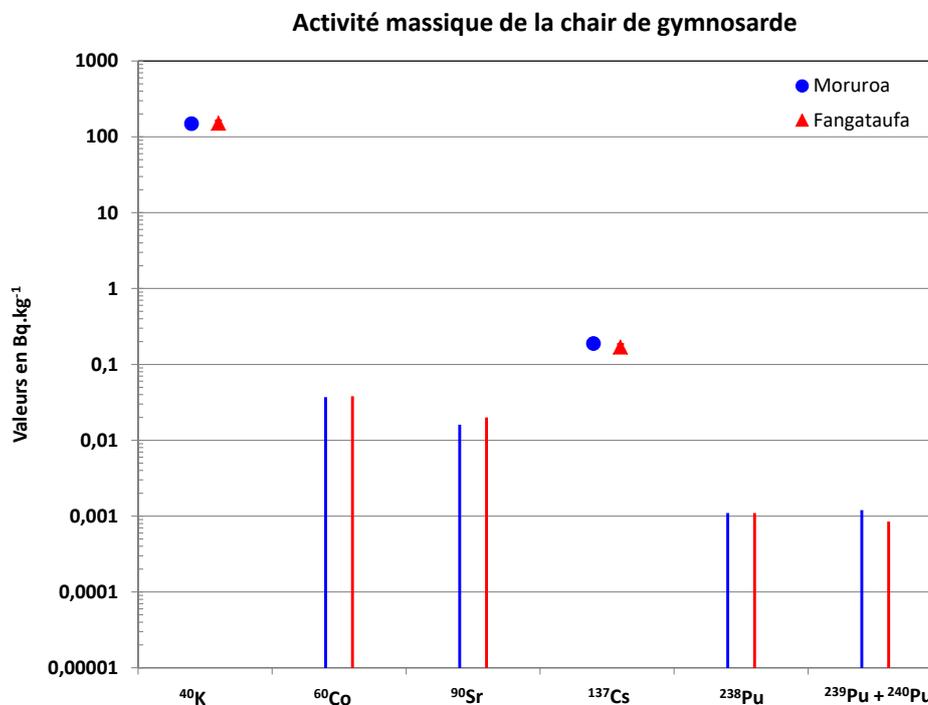


Figure 109. Activité massique dans la chair de gymnosarde pêchée à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

En 2019, seuls le ^{40}K , ^{137}Cs (à Moruroa et Fangataufa) et le $^{239+240}\text{Pu}$ (à Fangataufa) sont détectés sur la chair de gymnosarde.

5.5.2.1 Radioactivité d'origine naturelle du poisson pélagique côtier

La Figure 110 présente le suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Bien que radioactif le ^{40}K est un isotope naturel du potassium (abondance 0,01167 %). La concentration du potassium présent dans les milieux vivants étant constante l'activité massique en ^{40}K est donc stable. Les résultats d'analyse sont cohérents avec la valeur attendue. Aussi les valeurs basses en 2006 ne peuvent s'expliquer que par des artéfacts de mesure.

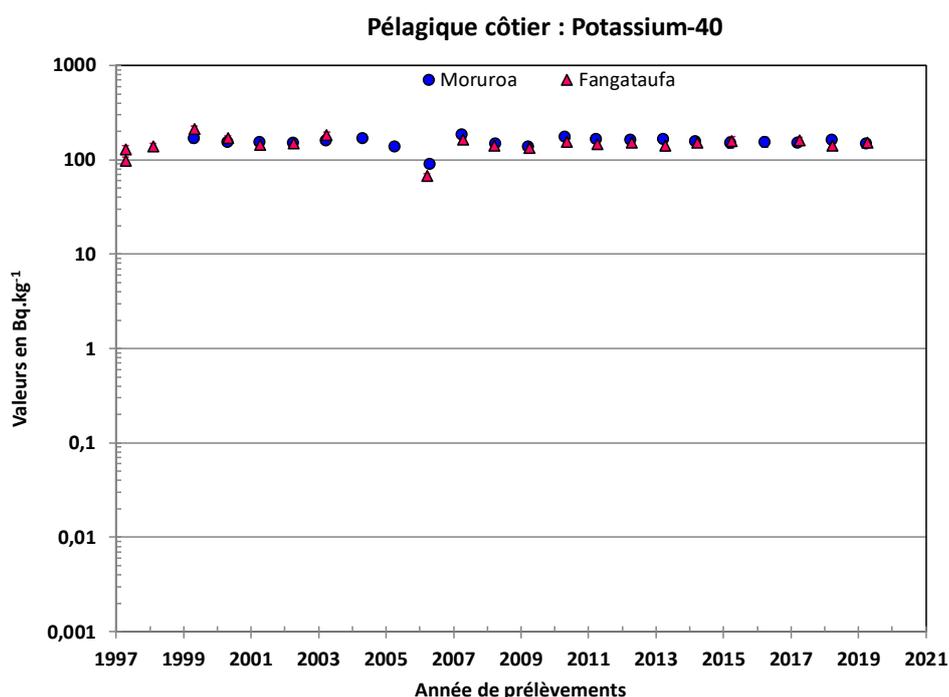


Figure 110. Suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

5.5.2.2 Radioactivité d'origine artificielle du poisson pélagique côtier

Les figures suivantes (Figure 111, Figure 113, Figure 112 et Figure 114) présentent les activités massiques du ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr et du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1997 à Moruroa et Fangataufa.

Les activités massiques en ^{238}Pu , étant inférieures aux limites de détection des appareils de mesure (activités massiques inférieures à $0,001 \text{ Bq.kg}^{-1}$) depuis 1997 à Moruroa et Fangataufa, elles ne sont pas présentées graphiquement.

Le suivi des activités massiques des radionucléides depuis 1997 montre :

- des activités massiques en ^{60}Co non détectées depuis 2004,
- des activités massiques en ^{137}Cs très légèrement décroissantes, du même niveau que celles des mérus des deux lagons de Moruroa et Fangataufa, l'activité volumique en ^{137}Cs de l'eau de ces lagons étant comparable à celle des eaux océaniques.

- des activités massiques en ^{90}Sr , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ proches ou inférieures aux limites de détection des appareils de mesure.

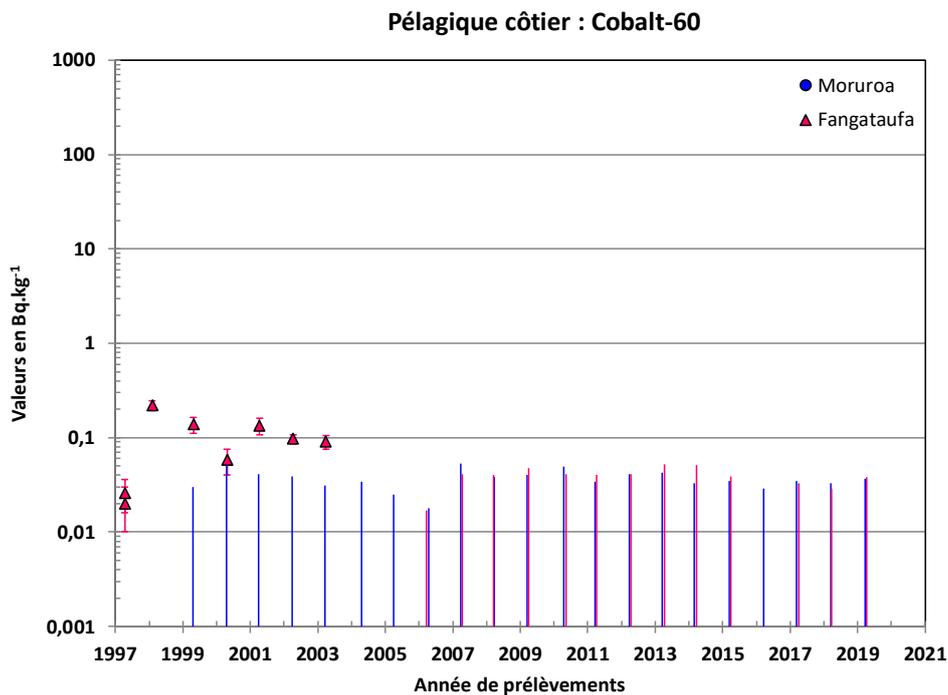


Figure 111. Suivi de l'activité massique du ^{60}Co de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

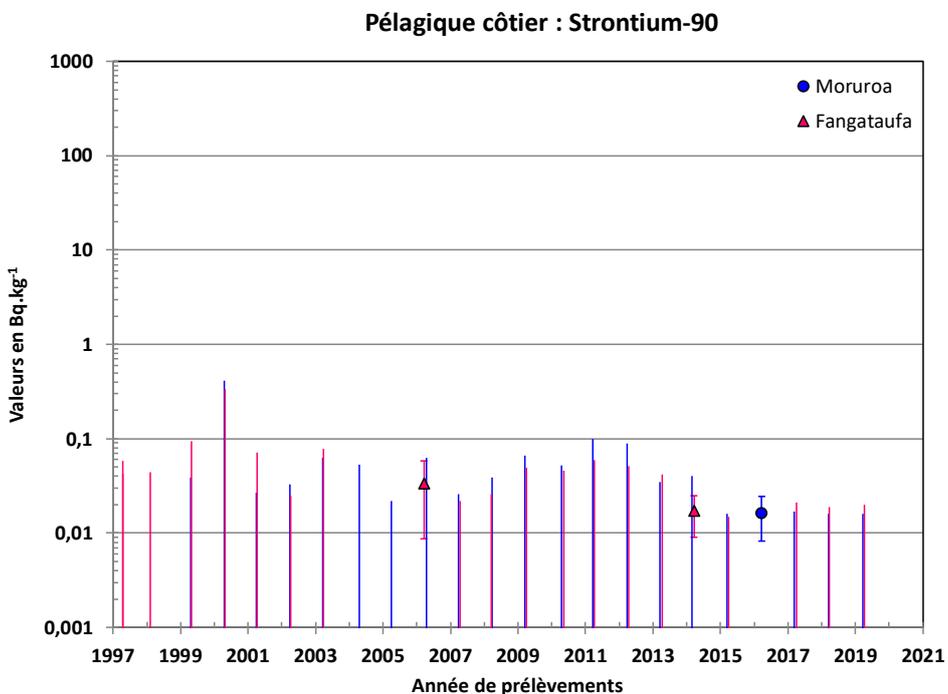


Figure 112. Suivi de l'activité massique du ^{90}Sr de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

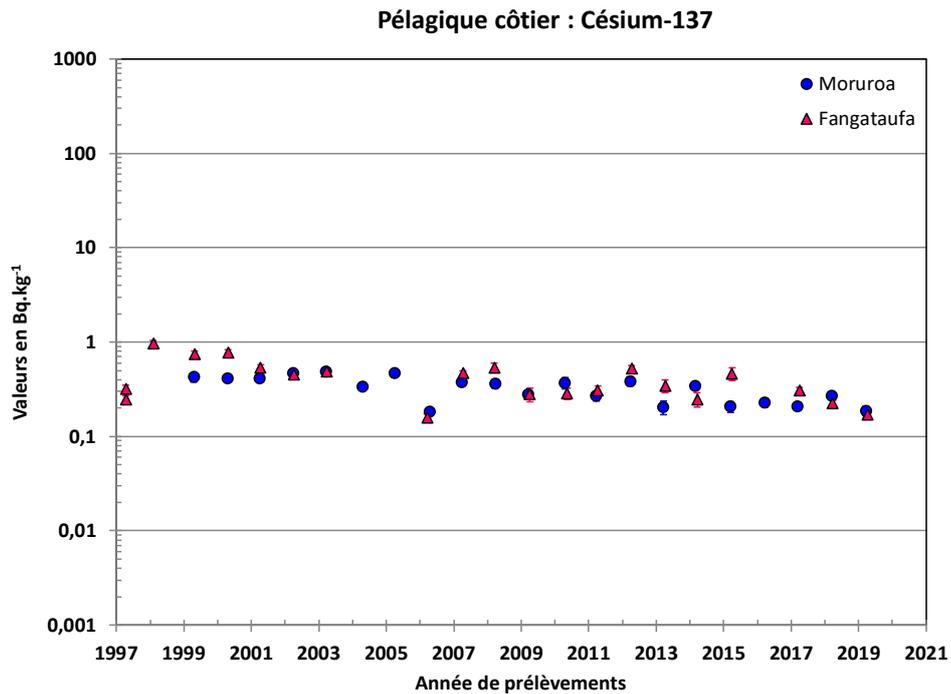


Figure 113. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

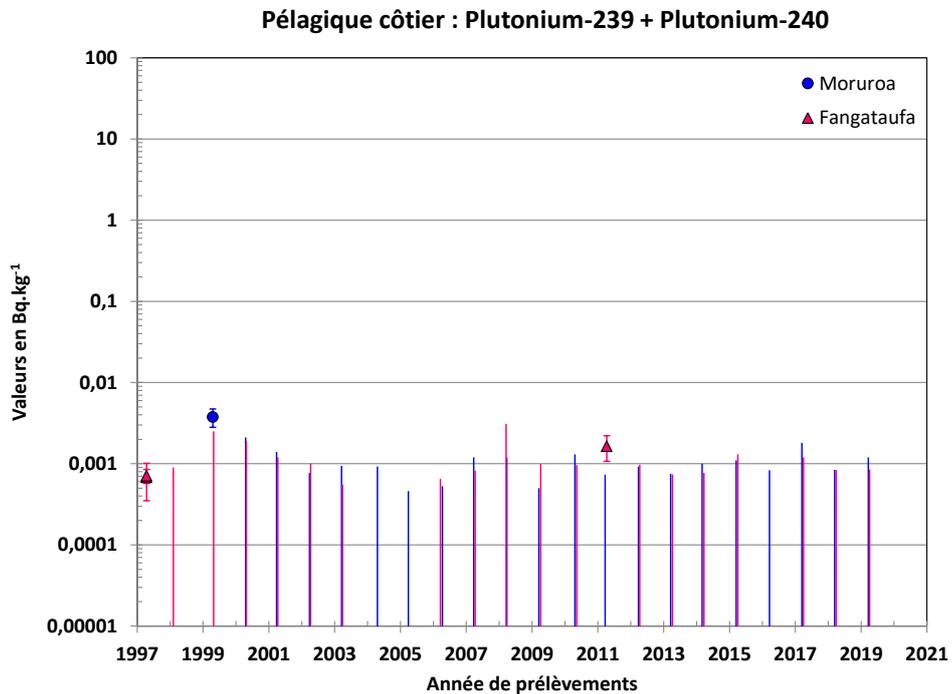


Figure 114. Suivi de l'activité massique du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

6 LA SURVEILLANCE DU MILIEU OCEANIQUE

La surveillance du milieu océanique comprend :

- la surveillance des eaux océaniques,
- la surveillance du plancton océanique réalisée avec des prélèvements tous les quatre ans,
- la surveillance des poissons pélagiques hauturiers.

Les localisations des prélèvements sont présentées dans la Figure 115 et la Figure 116 pour chaque type de prélèvement.

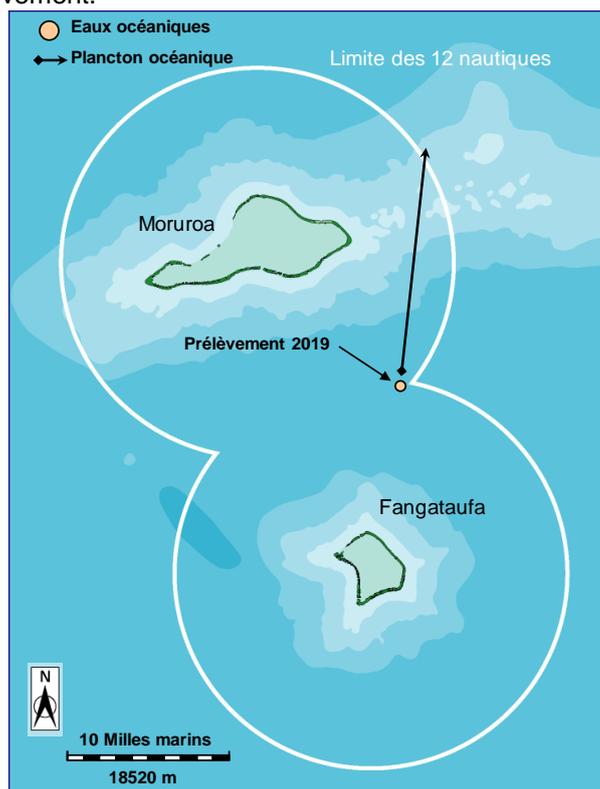


Figure 115. Emplacement du prélèvement des eaux océaniques dans la limite des 12 milles marins.

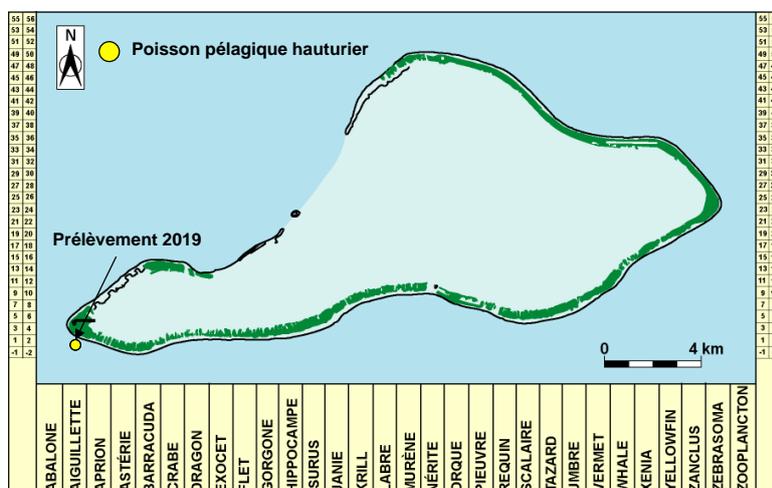


Figure 116. Emplacement du prélèvement de poisson pélagique hauturier à Moruroa.

6.1 Les eaux océaniques

6.1.1 Les prélèvements des eaux océaniques

Chaque année un prélèvement de deux fois cinquante millilitres d'eau océanique est réalisé en subsurface pour la mesure de l'eau tritiée.

Tous les quatre ans, des prélèvements de deux fois trente litres à cinq profondeurs (200 m, 400 m, 600 m, 800 m et 1000 m) sont réalisés pour mesurer l'activité en eau tritiée, ^{137}Cs , ^{90}Sr et en isotopes du plutonium. Les derniers prélèvements de ce type ont été réalisés en 2017 et les prochains sont prévus en 2021.

Les coordonnées des points de prélèvements aux abords de Moruroa et Fangataufa sont présentées dans le Tableau 47. Les caractéristiques des prélèvements antérieurs ne faisant pas l'objet de la campagne 2019 sont rappelées pour mémoire ([en caractères bleus](#)).

Tableau 47. Caractéristiques du prélèvement d'eaux océaniques en 2017 ([en caractères bleus](#)) et en 2019.

Localisation	Profondeur	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa / Fangataufa limite des 12 milles	5 m	23/03/2019	22°00,026'	138°39,968'	2 x 50 mL
		15/03/2017	21°59,999'	138°40,009'	2 x 30 L
	200 m	15/03/2017	21°59,996'	138°40,008'	2 x 50 mL 2 x 30 L
	400 m	15/03/2017	21°59,994'	138°40,003'	2 x 50 mL 2 x 30 L
	600 m	15/03/2017	22°00,001'	138°40,008'	2 x 50 mL 2 x 30 L
	800 m	15/03/2017	22°00,002'	138°40,007'	2 x 50 mL 2 x 30 L
	1000 m	15/03/2017	21°59,999'	138°40,009'	2 x 50 mL 2 x 30 L

6.1.2 Résultats des analyses des eaux océaniques

6.1.2.1 Radioactivité d'origine naturelle des eaux océaniques

Le guide de surveillance 2013 ne prévoit pas de surveillance de la radioactivité naturelle des eaux océaniques.

6.1.2.2 Radioactivité d'origine artificielle des eaux océaniques

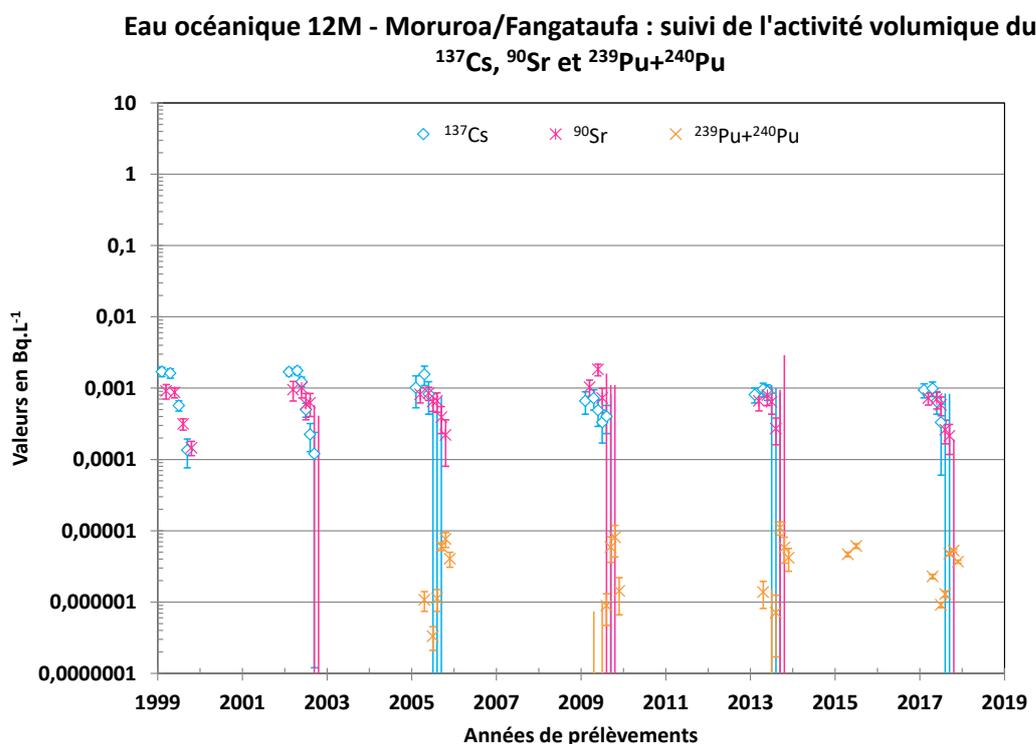
Le Tableau 48 présente le résultat de la mesure effectuée sur le prélèvement d'eau océanique en 2019 ainsi que les résultats des mesures effectuées au titre de la campagne 2017 (en bleu).

Tableau 48. Activités massiques des prélèvements d'eaux océaniques à 12 milles marins en 2017 (en caractères bleus) et 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Localisation	Date	Profondeur	HTO	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
Moruroa / Fangataufa	2019	subsurface	≤ 0,5			
	2017	subsurface		$(7,2 \pm 1,4) \cdot 10^{-4}$	$(9,4 \pm 2,1) \cdot 10^{-4}$	$(2,28 \pm 0,16) \cdot 10^{-6}$
	2017	200 m	≤ 0,5	$(7,0 \pm 1,9) \cdot 10^{-4}$	$(9,9 \pm 2,3) \cdot 10^{-4}$	$(9,12 \pm 0,77) \cdot 10^{-7}$
		400 m	≤ 0,5	$(5,8 \pm 1,7) \cdot 10^{-4}$	$(6,5 \pm 2,2) \cdot 10^{-4}$	$(1,30 \pm 0,13) \cdot 10^{-6}$
		600 m	≤ 0,6	$(2,60 \pm 0,95) \cdot 10^{-4}$	$(3,3 \pm 2,7) \cdot 10^{-4}$	$(4,79 \pm 0,25) \cdot 10^{-6}$
		800 m	≤ 0,5	$(2,13 \pm 0,96) \cdot 10^{-4}$	≤ $8,4 \cdot 10^{-4}$	$(5,26 \pm 0,20) \cdot 10^{-6}$
		1000 m	≤ 0,5	≤ $1,9 \cdot 10^{-4}$	≤ $8,3 \cdot 10^{-4}$	$(3,69 \pm 0,18) \cdot 10^{-6}$

Depuis le début de la surveillance en eau tritiée des eaux océaniques (2002), les activités volumiques en HTO sont systématiquement inférieures à la limite de détection des appareils de mesure (HTO < 0,5 Bq.L⁻¹). Ces données ne sont pas présentées dans un graphique.

La Figure 117 présente le suivi de l'activité volumique en ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu des eaux océaniques depuis 1999 (activité d'origine artificielle).

Figure 117. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les eaux océaniques depuis 1999. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Les profils présentés dans le bilan de surveillance radiologique de 2017 sont reportés ci-dessous.

Les figures suivantes (Figure 118, Figure 119 et Figure 120) présentent les profils des activités volumiques en ^{90}Sr , ^{137}Cs depuis 2002 et ^{239}Pu + ^{240}Pu depuis 2005.

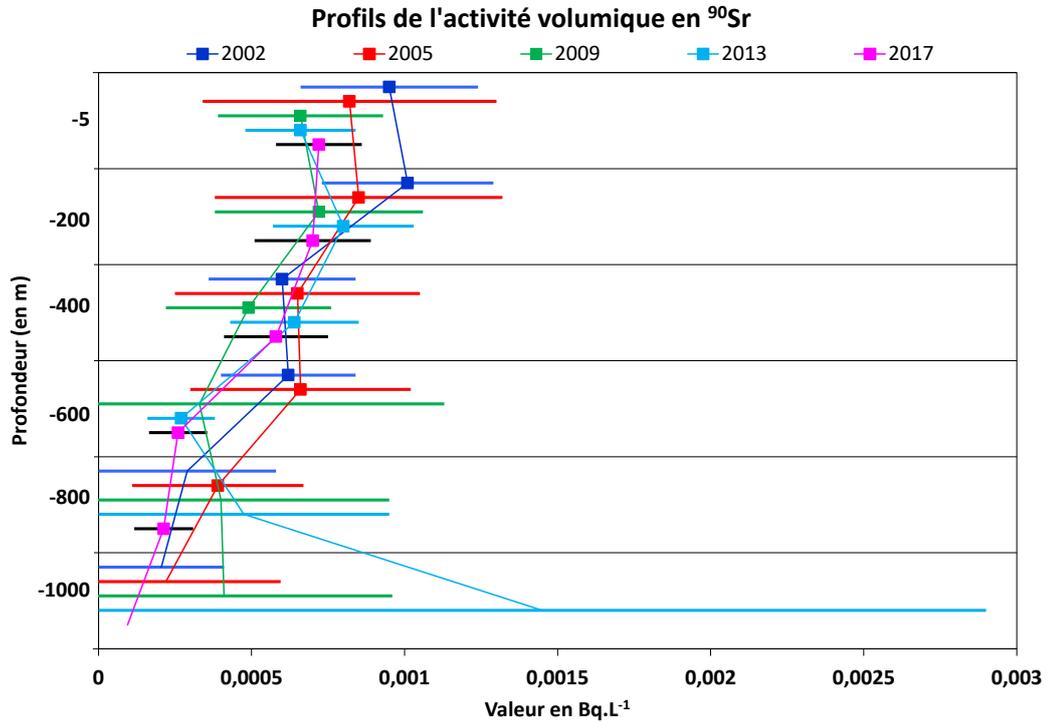


Figure 118. Profils de l'activité volumique du ^{90}Sr des eaux océaniques depuis 2002.

La valeur de LD reportée pour 2013 à 1000 m de profondeur est estimée non pertinente.

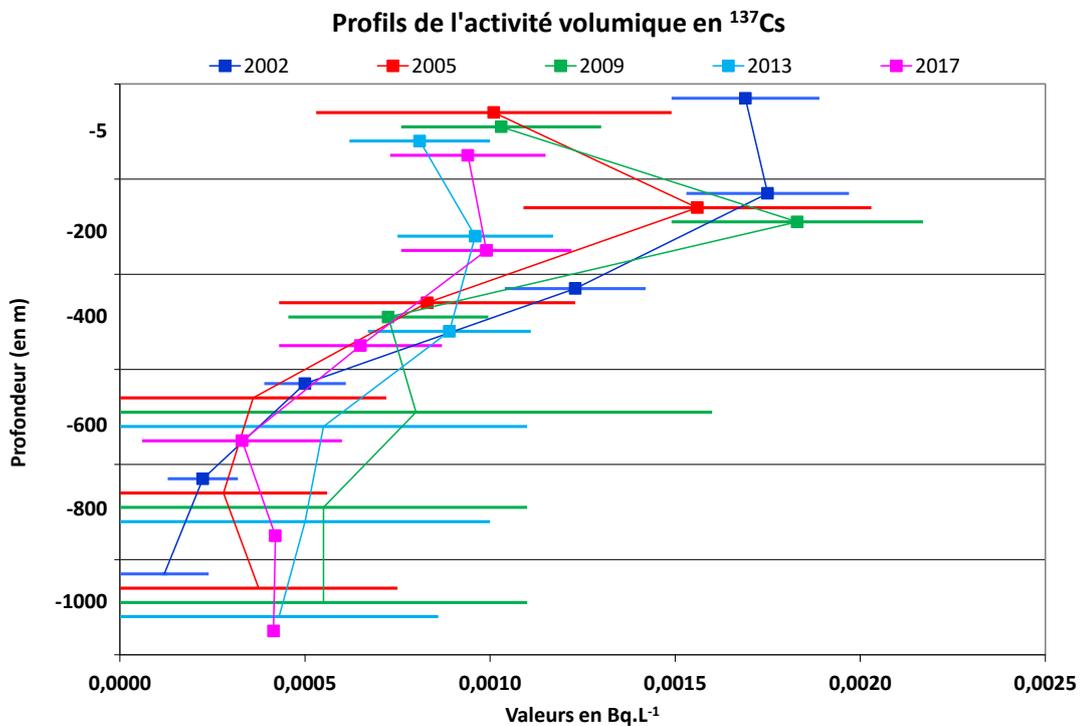


Figure 119. Profils de l'activité volumique du ^{137}Cs des eaux océaniques depuis 2002.

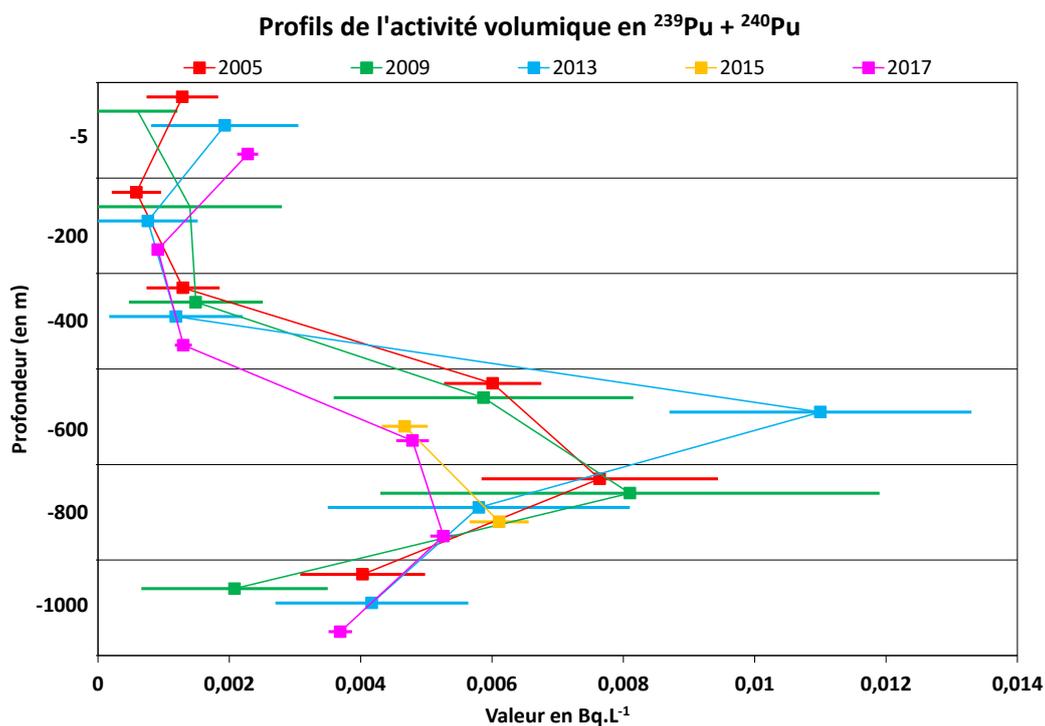


Figure 120. Profils de l'activité volumique du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des eaux océaniques depuis 2005.

Les profils d'activités en fonction de la profondeur du ^{90}Sr et ^{137}Cs sont comparables. Ils mettent en évidence une dilution de ces radionucléides dans la colonne d'eau conjuguée à une diminution de la radioactivité par décroissance naturelle de ces radionucléides.

Le profil d'activité en fonction de la profondeur du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ met en évidence la sédimentation du plutonium dans la colonne d'eau.

En 2015, deux prélèvements de contrôle ont été réalisés à 600 m et 800 m de profondeur afin de vérifier l'évolution significative des mesures de plutonium en 2013. Cette vérification a permis de mettre en doute pour 2013, soit la valeur pour le prélèvement réalisé à 600 m soit l'inversion des prélèvements réalisés à 600 m et 800 m de profondeur.

6.2 Le plancton océanique

Le plancton des eaux océaniques polynésiennes se caractérise par une faible biomasse et un grand nombre d'espèces. Ce plancton tropical ne présente pas de particularité faunistique notable. Cette variabilité des espèces collectées entre 10 et 50 mètres de profondeur peut engendrer une dispersion sensible des valeurs mesurées.

6.2.1 Les prélèvements de plancton océanique

L'édition 2013 du guide de surveillance radiologique des atolls de Moruroa et de Fangataufa prévoit un prélèvement tous les quatre ans. Le dernier prélèvement a été effectué en 2017 et le prochain aura lieu en 2021.

Le prélèvement est réalisé dans la limite des douze milles marins aux environs de l'endroit des prélèvements d'eaux océaniques. Les modes de prélèvement et de mesures sont les mêmes que pour le plancton océanique des flancs d'atoll.

La localisation du point de prélèvement de 2017 est présentée dans la Figure 115. Le Tableau 49 présente la masse prélevée ([en caractères bleus](#)).

Tableau 49. Caractéristiques du prélèvement de plancton océanique en 2017.

Localisation	Date de prélèvement	Distance	Volume filtré	Quantité
Moruroa/Fangataufa Limite des 12 milles	16/03/2017	19,5 milles	263 632 m ³	585 g

6.2.2 Résultats des analyses du plancton océanique

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du ⁹⁰Sr et des isotopes du plutonium (²³⁸Pu, ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu). La mesure du ⁹⁰Sr n'est effectuée que si la valeur en ¹³⁷Cs est supérieure à 1 Bq.kg⁻¹. Dans ce cas, le dosage du ⁹⁰Sr est alors réalisé par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium-90 (⁹⁰Y) sur compteur proportionnel bas bruit.

Le Tableau 50 présente les résultats des analyses effectuées sur le plancton océanique prélevé en 2017 ([en caractères bleus](#)).

Tableau 50. Activité massique des radionucléides dans le plancton océanique en 2017. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

Localisation	Radionucléides d'origine				
	Naturelle	Artificielle			
	⁴⁰ K	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
Moruroa/Fangataufa limite des 12 milles	30,3 ± 3,1	≤ 0,058	≤ 0,038	(8,1 ± 2,5).10 ⁻³	0,0345 ± 0,0052

La Figure 121 présente les résultats des analyses effectuées sur le plancton océanique en 2017 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle.

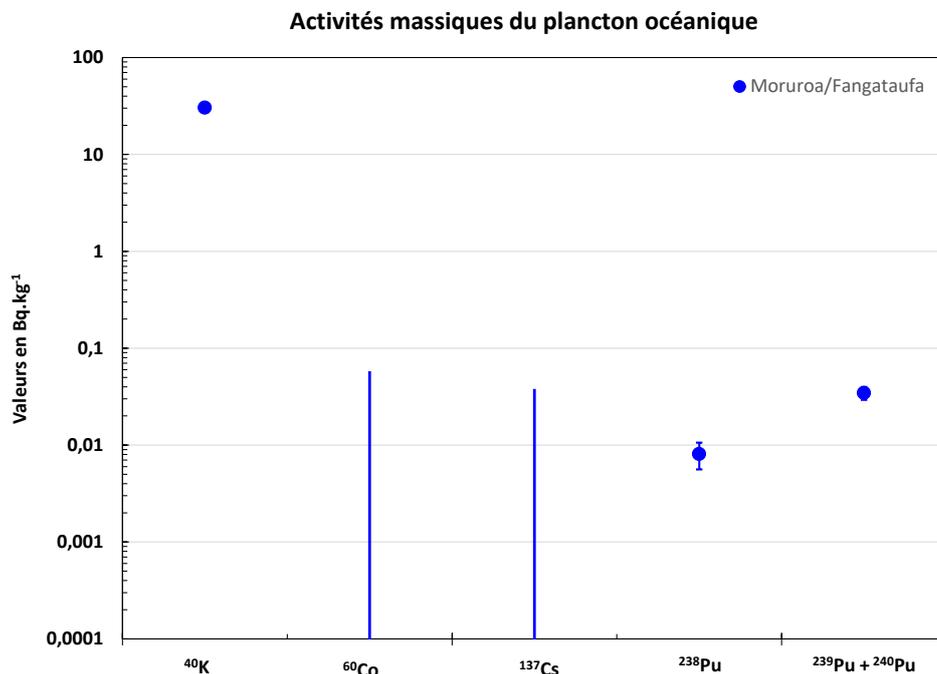


Figure 121. Activité massique du plancton océanique pour l'année 2017. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

6.2.2.1 Radioactivité d'origine naturelle du plancton océanique

La Figure 122 présente le suivi de l'activité massique du ⁴⁰K du plancton océanique depuis 1997. L'activité massique en ⁴⁰K est cohérente avec les valeurs attendues.

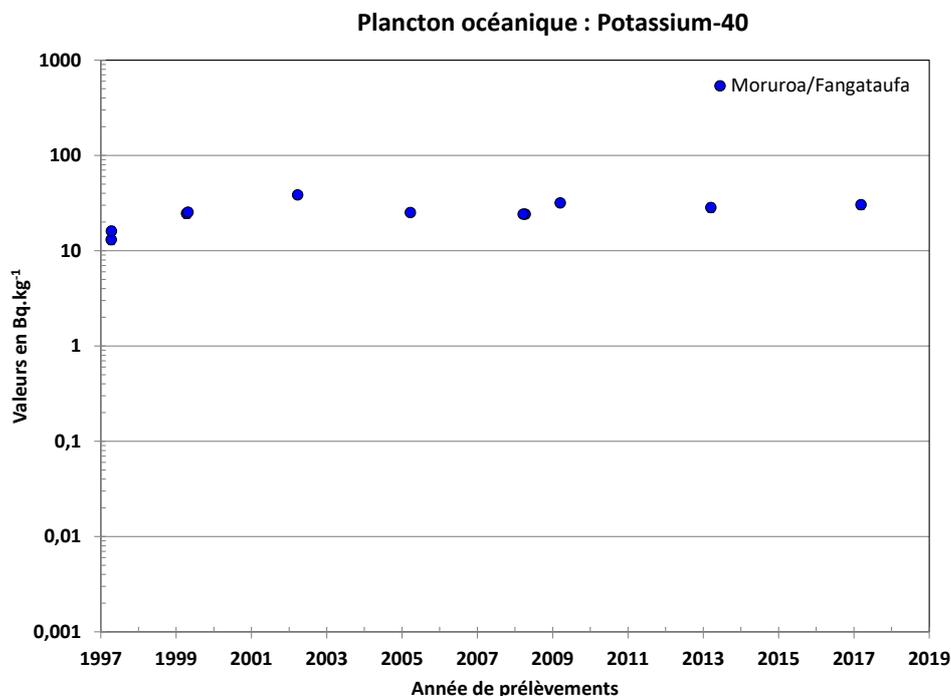


Figure 122. Suivi de l'activité massique en ⁴⁰K du plancton océanique depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

6.2.2.2 Radioactivité d'origine artificielle du plancton océanique

Depuis 1997, les activités mesurées en ^{60}Co et ^{137}Cs sur le plancton océanique présentent toutes des valeurs inférieures aux limites de détection des appareils de mesure et ne seront pas présentées.

Les figures suivantes (Figure 123 et Figure 124) présentent le suivi de l'activité massique en ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ du plancton océanique depuis 1997.

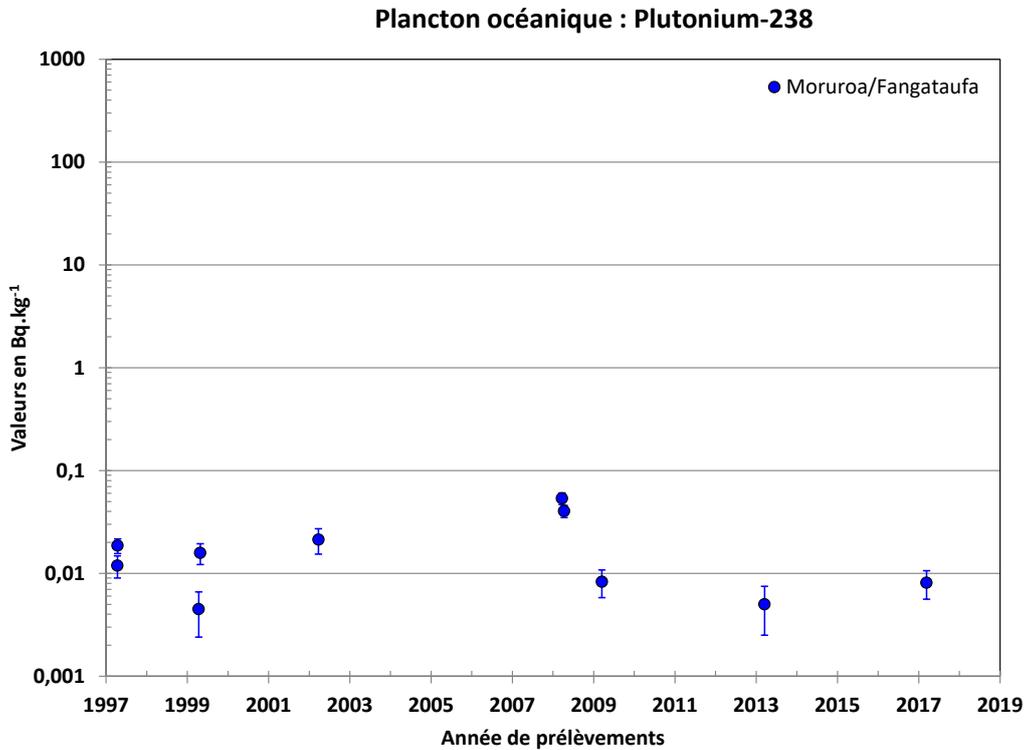


Figure 123. Suivi de l'activité massique en ^{238}Pu du plancton océanique depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

Le suivi des activités massiques en ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1997 montre des activités très faibles, légèrement inférieures à celles relevées dans le plancton des flancs d'atoll et également dispersées. Cette dispersion est due à la variabilité des espèces collectées comme explicité précédemment.

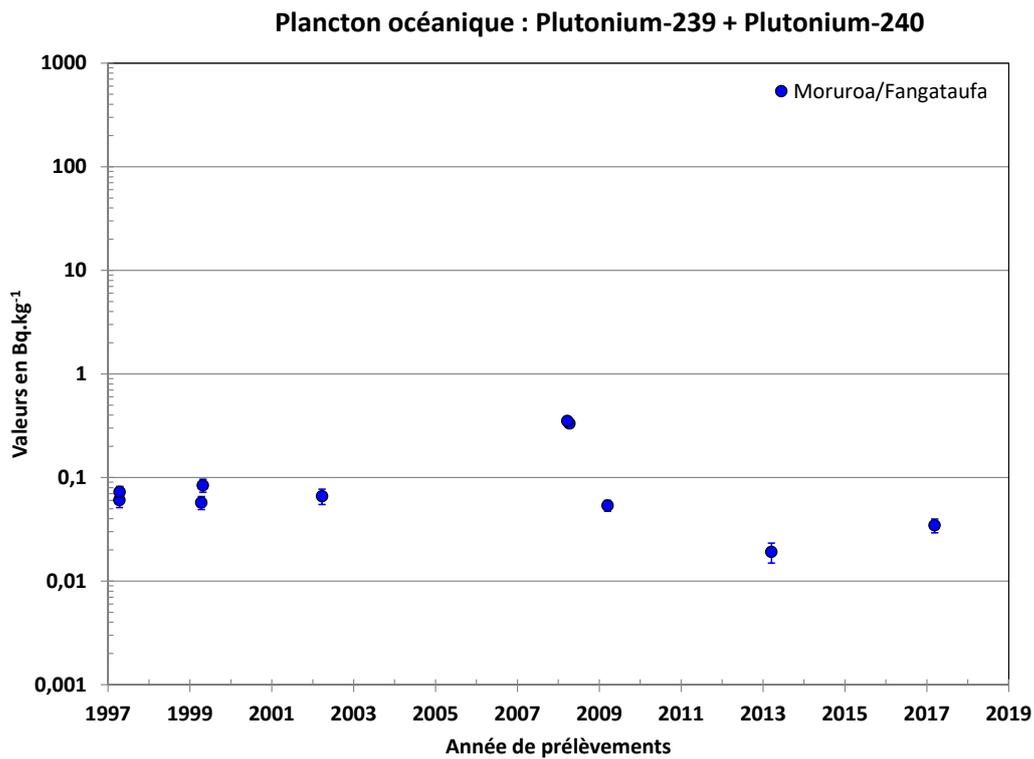


Figure 124. Suivi de l'activité massique en $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ du plancton océanique depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

6.3 Les poissons pélagiques hauturiers

Les poissons pélagiques hauturiers concernent des espèces très répandues en Polynésie française. Deux espèces peuvent être prélevées : la bonite à ventre rayé (*Katsuwonus pelamis*) et le thon à nageoires jaunes ou thon yellowfin (*Thunnus albacares*).

Le thon à nageoires jaunes, qui doit son nom à la couleur de ses nageoires, est parfois dénommé albacore. Il est capturé en surface et en profondeur. En importance, c'est la deuxième espèce capturée par la pêche thonière de Tahiti. Des résultats très fragmentaires ont montré de grandes migrations de cette espèce depuis la zone polynésienne jusqu'au Nord-Est du Pacifique.

6.3.1 Les prélèvements des poissons pélagiques hauturiers

Un prélèvement est réalisé chaque année à Fangataufa ou dans un des quatre secteurs océaniques de Moruroa. La localisation est donnée sur la Figure 116.

La pêche des poissons pélagiques hauturiers s'effectue à la traîne avec des leurres armés d'un hameçon double. Les lignes sont remorquées en surface à la vitesse de six à huit nœuds à quelques nautiques des côtes (Figure 125).

Le poisson est découpé pour recueillir les filets jusqu'à l'obtention d'environ trois kilogrammes de chair.

Les coordonnées du point de prélèvement à Moruroa sont présentées dans le Tableau 51.

Tableau 51. Caractéristiques du prélèvement de poisson pélagique hauturier en 2019.

Localisation	Date de prélèvement	Latitude S	Longitude W	Quantités prélevées
Moruroa secteur 1	27/03/2019	21°53,350'	139°02,224'	3 350 g



Figure 125. Prélèvement de thon à nageoires jaunes.

6.3.2 Résultats des analyses des poissons pélagiques hauturiers

L'ensemble du prélèvement est calciné. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du ^{90}Sr et des isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu).

Le Tableau 52 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de poisson pélagique hauturier prélevée en 2019 (activités d'origines naturelle et artificielle).

Tableau 52. Activité massique des radionucléides dans la chair de poisson pélagique hauturier, pêché autour de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

Localisation	Radionucléides d'origine					
	Naturelle	Artificielle				
	^{40}K	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu
Moruroa Secteur 1	133 ± 11	$\leq 0,036$	$\leq 0,014$	$0,131 \pm 0,013$	$\leq 11.10^{-4}$	$\leq 8,6.10^{-4}$

La Figure 126 présente les résultats des analyses effectuées sur la chair de poissons pélagiques hauturiers en 2019 pour les radionucléides d'origine naturelle et artificielle. En 2019, les activités massiques du ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu sont inférieures aux limites de détection des appareils de mesure.

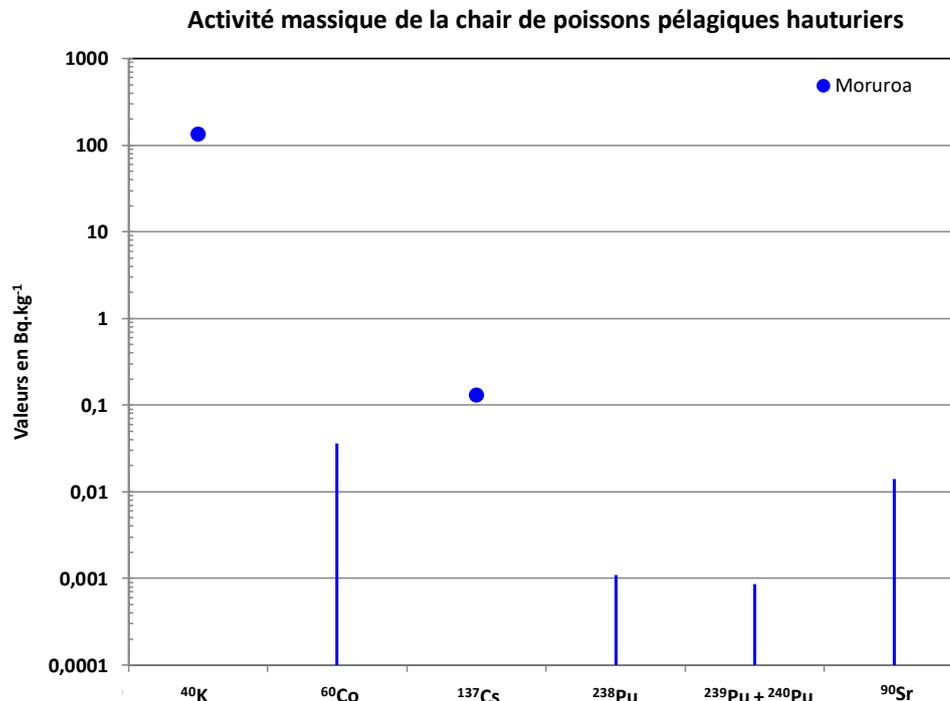


Figure 126. Activité massique de la chair de poisson pélagique hauturier prélevée en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

6.3.2.1 Radioactivité d'origine naturelle des poissons pélagiques hauturiers

La Figure 127 présente le suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair de poissons pélagiques hauturiers depuis 1997. L'activité massique en ^{40}K est stable et cohérente à la valeur attendue.

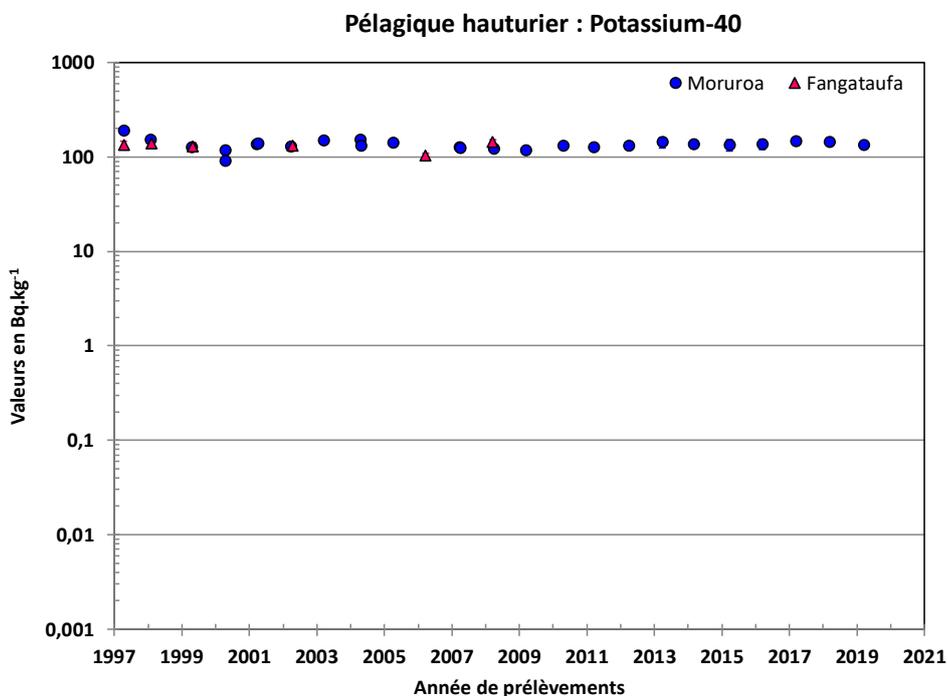


Figure 127. Suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair de poissons pélagiques hauturiers depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1} .

6.3.2.2 Radioactivité d'origine artificielle des poissons pélagiques hauturiers

Les figures suivantes (Figure 128, Figure 129 et Figure 130) présentent les activités massiques du ^{60}Co , ^{137}Cs et du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1997.

Les activités massiques en ^{90}Sr et ^{238}Pu , étant inférieures aux limites de détection des appareils de mesure à Moruroa et Fangataufa depuis 1997, ne sont pas présentées graphiquement.

Le suivi des activités massiques en ces radionucléides depuis 1997 montre :

- des activités en ^{60}Co inférieures aux limites de détection des appareils de mesure (artéfact de mesure en 2009).
- des activités massiques en $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ inférieures aux limites de détection des appareils de mesure depuis 2000,
- des activités massiques en ^{137}Cs très légèrement décroissantes, du même ordre de grandeur que celles observées sur les mérus des lagons de Moruroa et Fangataufa et sur les poissons pélagiques côtiers.

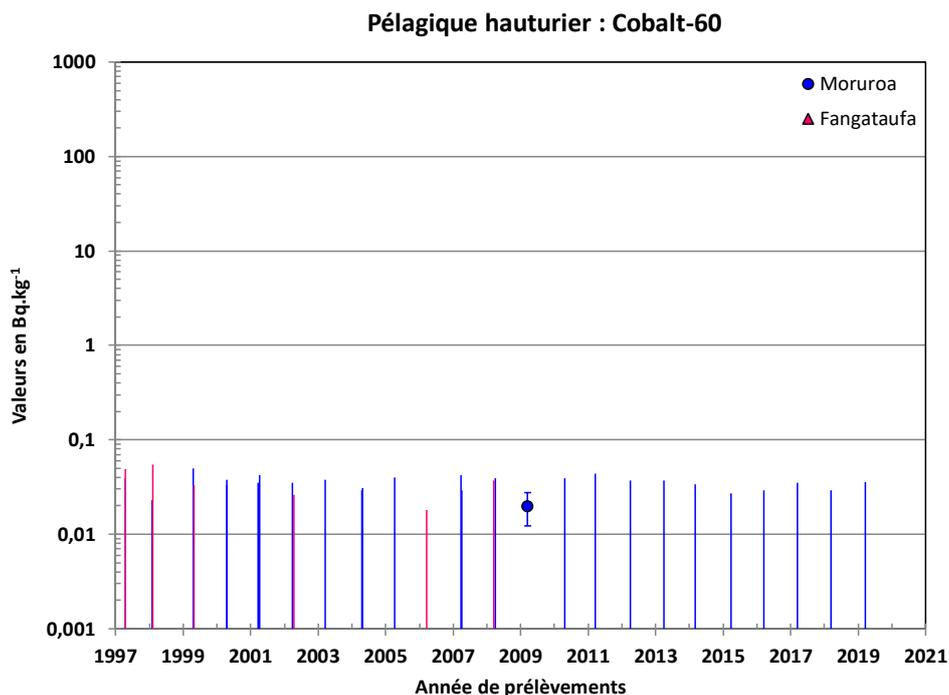


Figure 128. Suivi de l'activité massique du ⁶⁰Co de la chair de poissons pélagiques hauturiers depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

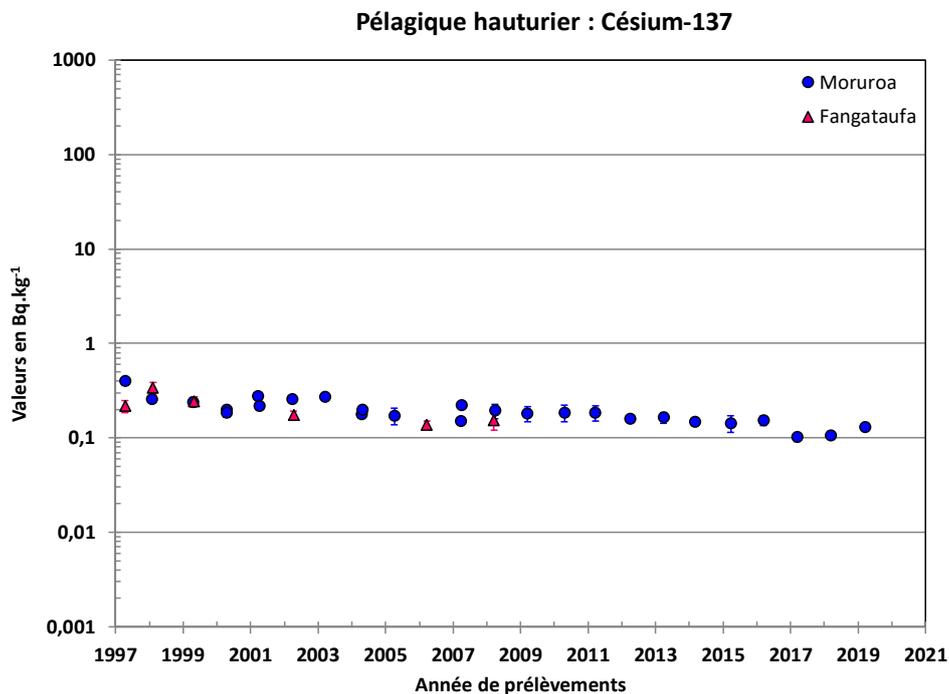


Figure 129. Suivi de l'activité massique du ¹³⁷Cs de la chair de poissons pélagiques hauturiers depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

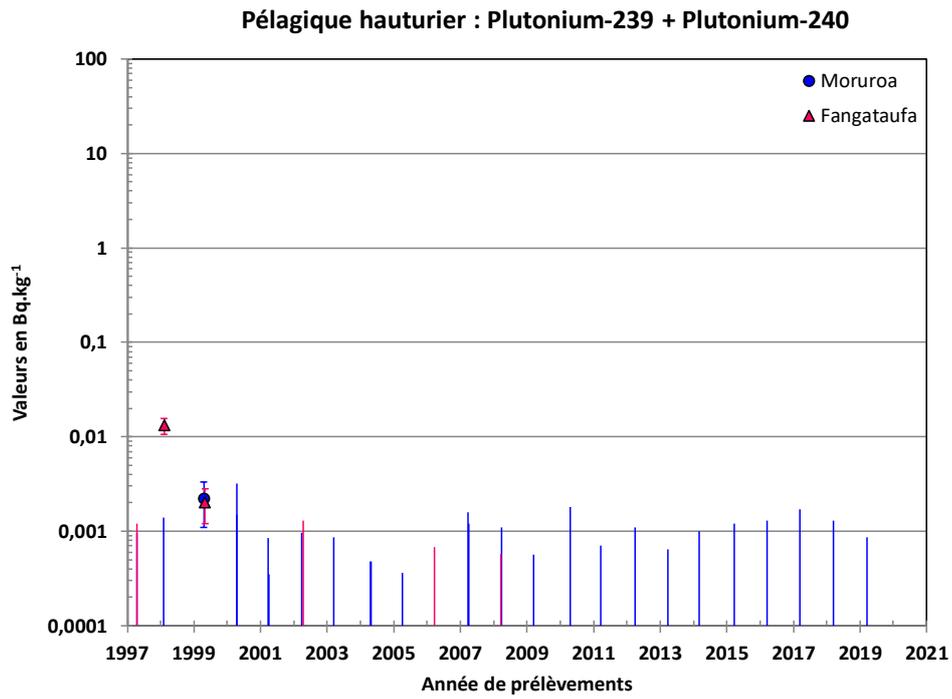


Figure 130. Suivi de l'activité massique du ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu de la chair de poissons pélagiques hauturiers depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹.

7 CONCLUSIONS

Les modalités de la surveillance radiologique de l'environnement des anciens sites d'expérimentations du Pacifique sont décrites dans le guide de surveillance radiologique de 2013.

La surveillance environnementale concerne les milieux physique et biologique des deux atolls et de leurs abords :

- l'exposition externe ambiante par la dosimétrie et la surveillance des aérosols atmosphériques à Moruroa,
- l'eau du robinet produite en zone Martine à Moruroa,
- le sable de la plage Anémone de la zone vie à Moruroa,
- les deux lagons avec la surveillance des eaux, des sédiments, du plancton, des poissons (chirurgien, mérou) et des mollusques (troca),
- la couronne des deux atolls avec les noix de coco et les sols,
- le tombant récifal avec les eaux des flancs d'atolls, les crevettes de profondeur et le plancton pour l'atoll de Moruroa ainsi que les poissons pélagiques côtiers (gymnosarde) et les mollusques (turbo soyeux) pour chacun des deux atolls,
- l'océan dans la limite des douze nautiques, avec les eaux océaniques, le plancton et les poissons pélagiques hauturiers (thon à nageoires jaunes ou bonite à ventre rayé).

En complément de cette surveillance environnementale, le programme comprend un contrôle des eaux souterraines par prélèvement d'eau dans 21 observatoires dont 17 à Moruroa et 4 à Fangataufa (Annexe 1).

La campagne 2019 :

La campagne de prélèvement de 2019 et les mesures réalisées sont conformes aux spécifications du guide de surveillance radiologique 2013.

La surveillance de l'environnement à Moruroa et Fangataufa met en évidence que les radionucléides d'origine artificielle mesurés dans les échantillons sont présents à des niveaux très faibles et souvent inférieurs ou voisins de la limite de détection des appareils de mesure de la radioactivité.

Depuis la situation radiologique établie par l'AIEA en 1996, constat de référence des niveaux d'activité dans l'environnement des deux atolls, les concentrations mesurées dans le milieu terrestre et les sédiments marins gardent la trace des essais atmosphériques effectués sur les atolls de Moruroa et Fangataufa en étant stables ou en légère diminution (AIEA, 1998¹). En particulier, les mesures des prélèvements de sédiments des lagons montrent une stabilité de la radioactivité des fonds lagonaires, y compris en périphérie du banc Colette à Moruroa. Par ailleurs, la surveillance du milieu océanique confirme l'absence d'influence significative des essais nucléaires effectués sur les atolls de Moruroa et Fangataufa.

Ces observatoires sont des puits qui, à l'arrêt des expérimentations, ont été équipés de polytubes dont chaque tube élémentaire débouche dans le terrain à une profondeur prédéterminée (Figure 133 et Figure 134).

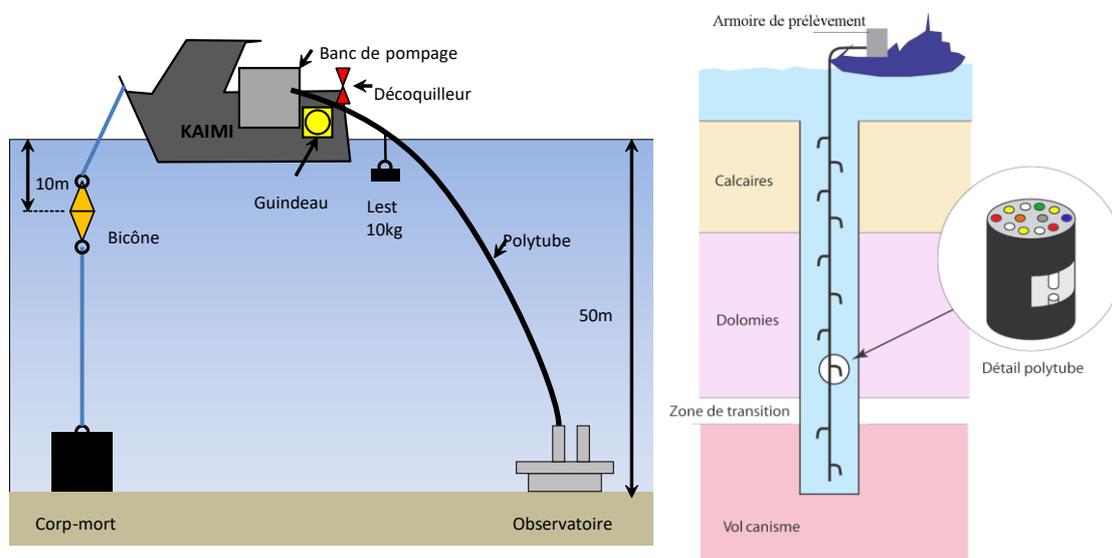


Figure 133. Principe de prélèvement, dans le lagon, des eaux souterraines par polytubes.

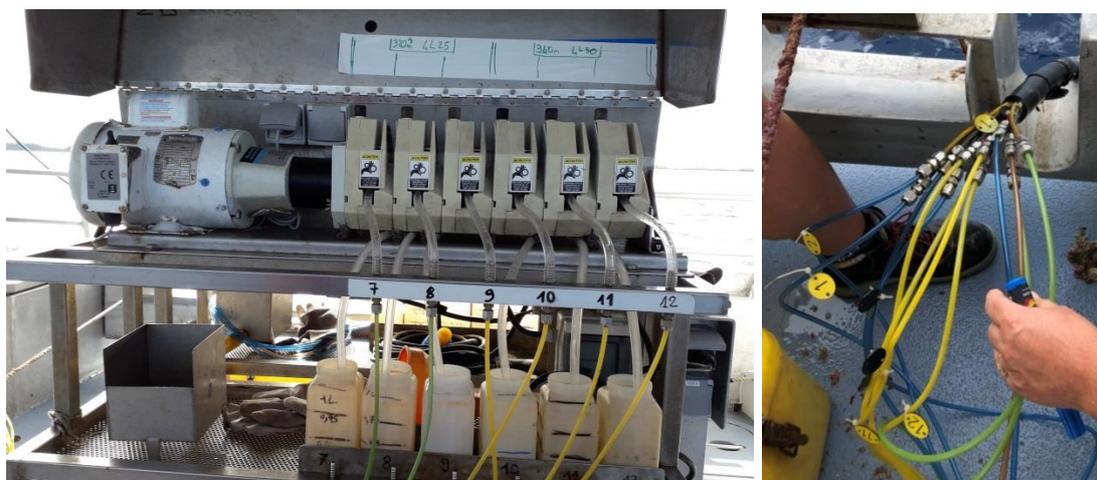


Figure 134. Banc de pompage et raccordement du polytube au banc de pompage de la vedette de prélèvement KAIMI en 2019.

8.1.1 Les prélèvements des eaux souterraines

Les prélèvements sont effectués par pompage dans chaque tube élémentaire. Les profondeurs de prélèvement ont été choisies de manière à surveiller principalement les horizons karstiques des couvertures carbonatées des deux atolls.

Chaque prélèvement est constitué de deux fois cinquante millilitres pour l'analyse en eau tritiée (HTO) ; pour la surveillance du strontium-90 (^{90}Sr), du césium-137 (^{137}Cs) et du plutonium (^{238}Pu , $^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$) des prélèvements de dix litres sont par ailleurs réalisés.

8.1.2 Résultats des analyses des eaux souterraines

Les mesures effectuées sont :

- une scintillation liquide pour la mesure du HTO (teneur en eau tritiée) de tous les observatoires,
- une spectrométrie gamma (γ) sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs),
- la mesure du ^{90}Sr par dosage sur compteur proportionnel bas bruit par comptage bêta (β) de son descendant radioactif l'yttrium-90 (^{90}Y),
- une recherche et une mesure des isotopes du plutonium par spectrométrie alpha (α) sur détecteur semi-conducteur au silicium.

De manière générale, l'activité en eau tritiée est mesurée sur la totalité des eaux souterraines des observatoires de Moruroa et Fangataufa. Lorsque l'activité en eau tritiée est supérieure à 2 Bq.L^{-1} , les activités en ^{90}Sr et ^{137}Cs sont également déterminées conformément au guide de surveillance radiologique 2013.

De plus, les analyses en plutonium sont réalisées pour les observatoires suivants à une cote donnée : KRILL 23 (220 m), MURENE 16 (230 m), PIEUVRE 37 (300 m), TAZARD 14 (290 m) et FUSEAU 30 (193 m).

Les variations des valeurs mesurées trouvent leur origine dans des phénomènes très variés. En effet, suivant la profondeur, la géologie du sous-sol, les marées et les conditions météorologiques, les eaux souterraines sont plus ou moins brassées, entraînant des dilutions plus ou moins importantes.

8.1.2.1 Les observatoires de Moruroa

La position et la liste des observatoires des eaux souterraines à Moruroa sont présentées dans la Figure 131.

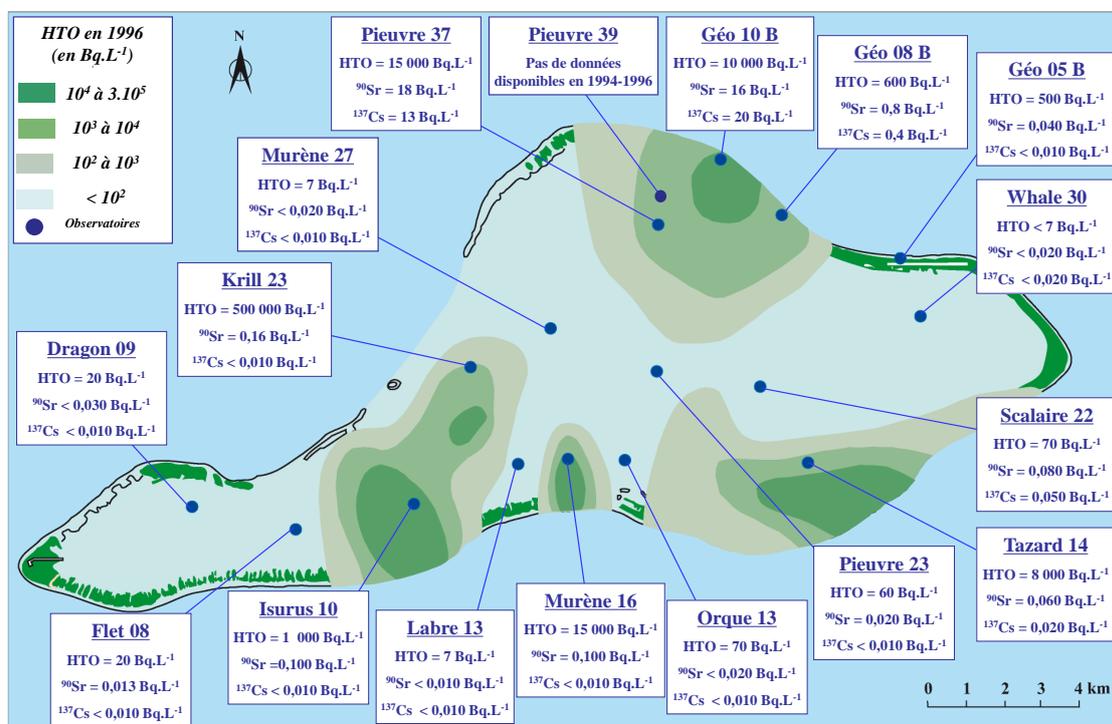


Figure 135. Gradient horizontal de l'activité volumique du tritium dans les eaux souterraines à Moruroa, pour la période 1994-1996.

Cette partie présente les résultats des activités en radionucléides, d'origine artificielle, obtenues sur l'ensemble des eaux souterraines en 2019. La Figure 135 présente la concentration en tritium dans les eaux souterraines dans les carbonates établies pour la période 1994-1996, ainsi que les valeurs maximales d'activités mesurées en HTO, ⁹⁰Sr et ¹³⁷Cs pour cette période dans chaque observatoire.

Observatoire DRAGON 09

Ce forage, situé en zone Ouest du lagon, est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 3 cotes distinctes situées entre 162 et 258 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire DRAGON 09 sont regroupés dans le Tableau 53.

Toutes les mesures en HTO en 2019 sont inférieures à la limite de détection.

Tableau 53. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire DRAGON 09 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO
DRAGON 09	162	26/03/2019	≤ 2,3
	205		≤ 2,2
	258		≤ 2,2

La Figure 136 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

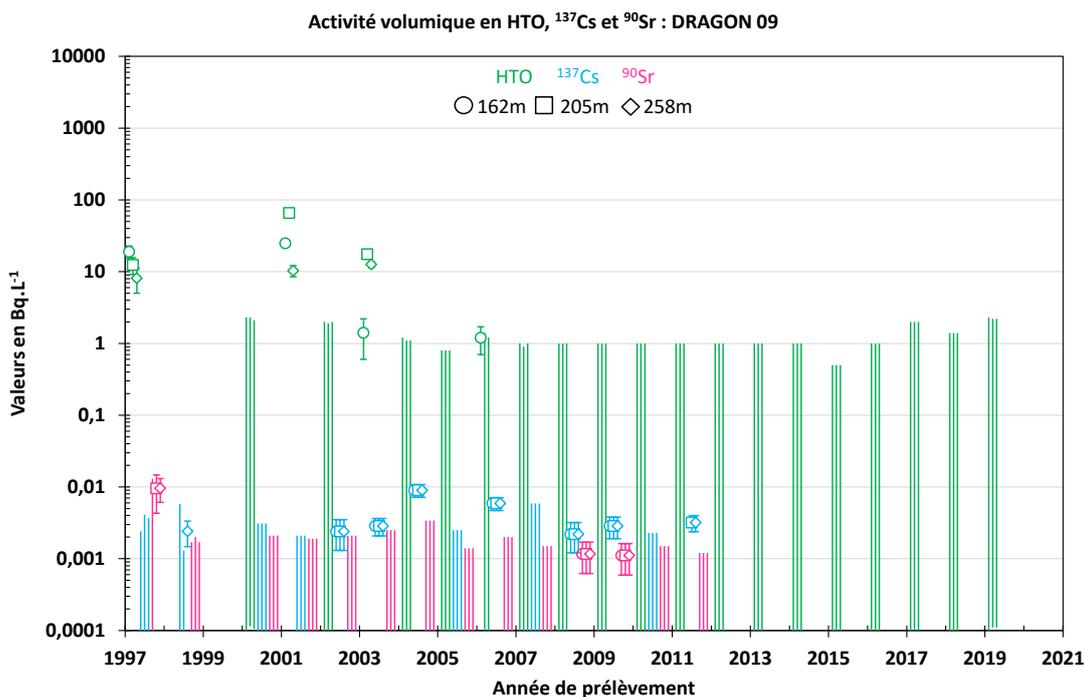


Figure 136. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire DRAGON 09.

Les valeurs mesurées en 2019 sont inférieures à la limite de détection des appareils de mesure.

Observatoire FLET 08

Ce forage de la zone Ouest du lagon est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 4 cotes distinctes situées entre 100 et 280 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire FLET 08 sont regroupés dans le Tableau 54.

Tableau 54. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire FLET 08 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs
FLET 08	100	26/03/2019	≤ 2,3	$(17,5 \pm 2,8) \cdot 10^{-3}$
	135		≤ 2,1	$(6,18 \pm 0,93) \cdot 10^{-3}$
	193		≤ 2,1	$(1,94 \pm 0,71) \cdot 10^{-3}$
	280		≤ 2,1	$\leq 2,7 \cdot 10^{-3}$

La Figure 137 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

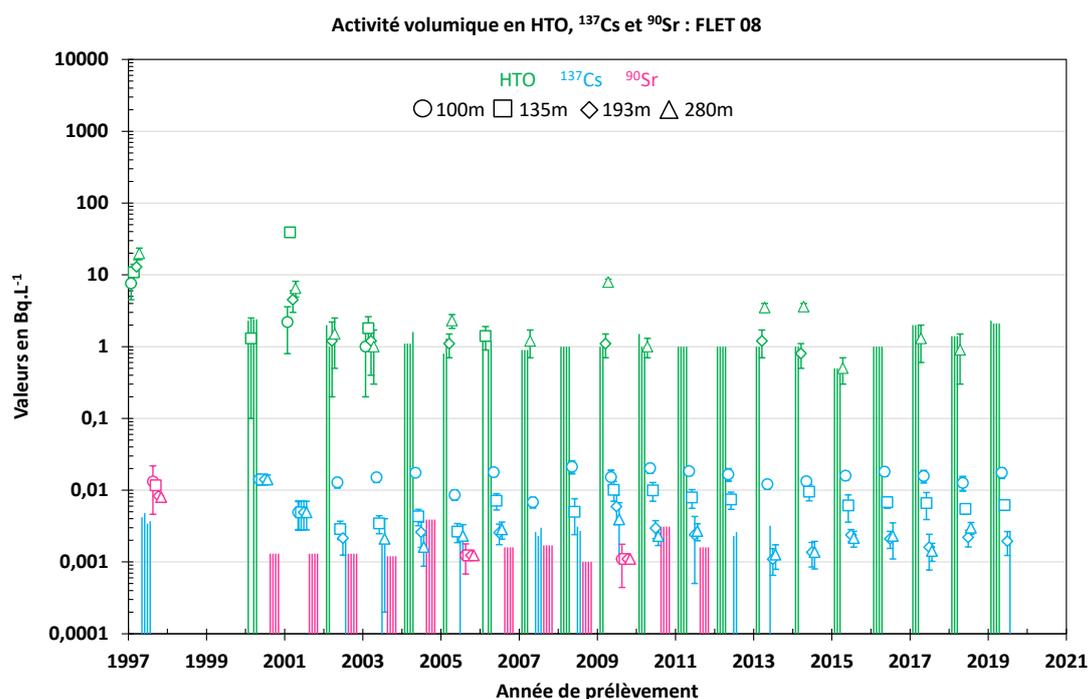


Figure 137. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire FLET 08.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire GEO 5B

Ce forage de la couronne de l'atoll en zone Irène est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 6 cotes distinctes situées entre 100 et 266 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire GEO 5B sont regroupés dans le Tableau 55.

Tableau 55. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire GEO 5B en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
GEO 5B	100-102	22/03/2019	2,5 ± 0,6	(2,23 ± 0,64).10 ⁻³	(4,32 ± 0,67).10 ⁻³
	149-151		1,35 ± 0,59	≤ 2,2.10 ⁻³	(3,00 ± 0,52).10 ⁻³
	185-187		2,2 ± 0,6	(1,52 ± 0,45).10 ⁻³	(4,56 ± 0,88).10 ⁻³
	215-217		2,76 ± 0,65	(2,0 ± 1,4).10 ⁻³	(4,72 ± 0,66).10 ⁻³
	228-230		3,3 ± 0,6	(2,34 ± 0,60).10 ⁻³	(4,61 ± 0,66).10 ⁻³
	264-266		3,7 ± 0,7	(3,0 ± 1,9).10 ⁻³	(4,62 ± 0,66).10 ⁻³

La Figure 138 présente le suivi de l'activité volumique en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr de cet observatoire depuis 1997.

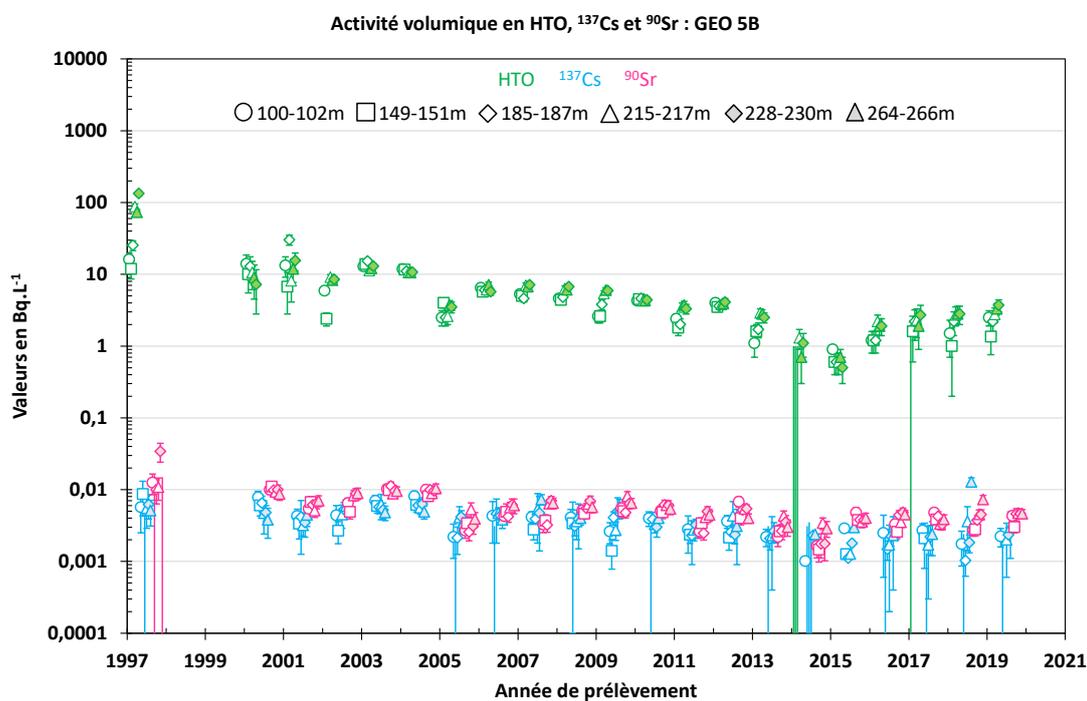


Figure 138. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire GEO 5B.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire GEO 8B

Le puits GEO 8B de la couronne de l'atoll en zone Camélia, est un forage rebouché à 330 m et proche de forages d'essais réalisés dans les carbonates. Ce forage est équipé d'un polytube permettant des prélèvements à 4 cotes distinctes situées entre 107 et 278 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire GEO 8B sont regroupés dans le Tableau 56.

Tableau 56. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire GEO 8B en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
GEO 8B	107-110	22/03/2019	222 ± 12	0,085 ± 0,039	0,662 ± 0,094
	158-168		303 ± 16	0,128 ± 0,086	0,453 ± 0,070
	209-212		361 ± 19	0,205 ± 0,030	0,695 ± 0,097
	274-278		377 ± 20	0,348 ± 0,048	0,75 ± 0,10

La Figure 139 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

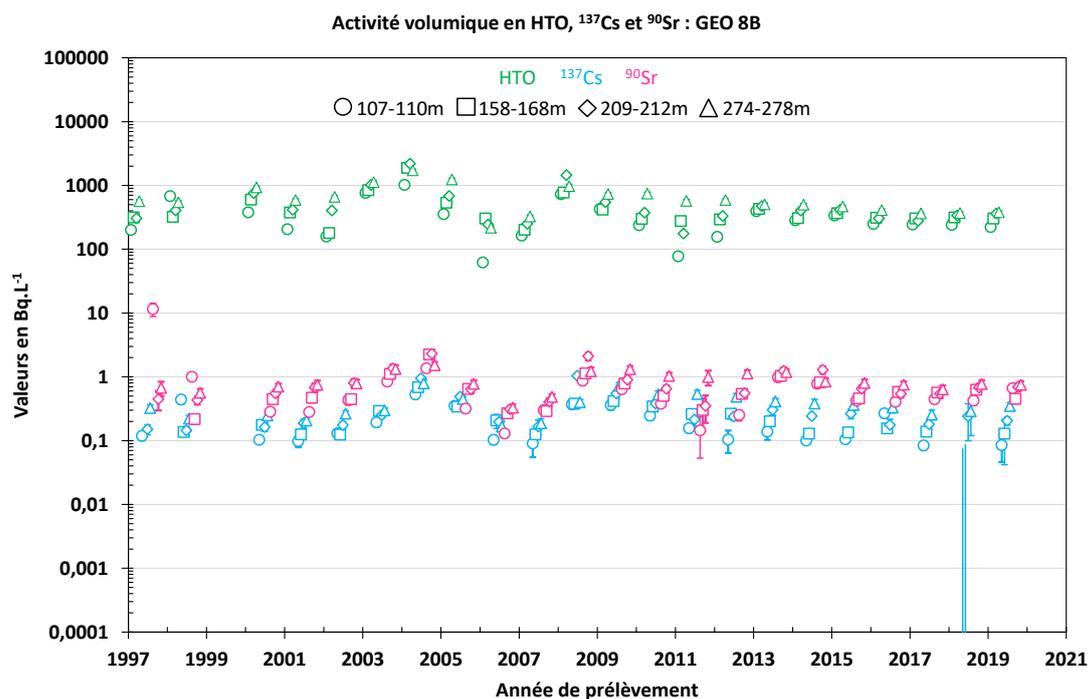


Figure 139. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire GEO 8B.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire GEO 10 B

Ce forage de la couronne de l'atoll en zone Française débouche dans les carbonates. Il est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 5 cotes distinctes situées entre 140 m et 311 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire GEO 10B sont regroupés dans le Tableau 57. Le prélèvement de la cote 228-233 n'a pas pu être analysé car les flacons ont été brisés lors du transport donc l'activité volumique présentée est celle de 2018.

Tableau 57. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire GEO 10B en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
GEO 10B	140-144	25/03/2019	496 ± 26	0,680 ± 0,059	1,07 ± 0,14
	164-169		992 ± 52	0,97 ± 0,11	3,22 ± 0,41
	228-233		894 ± 47	1,02 ± 0,16	4,83 ± 0,61
	282-284		1300 ± 70	2,11 ± 0,22	5,10 ± 0,64
	307-311		1440 ± 70	4,83 ± 0,32	5,98 ± 0,75

La Figure 140 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

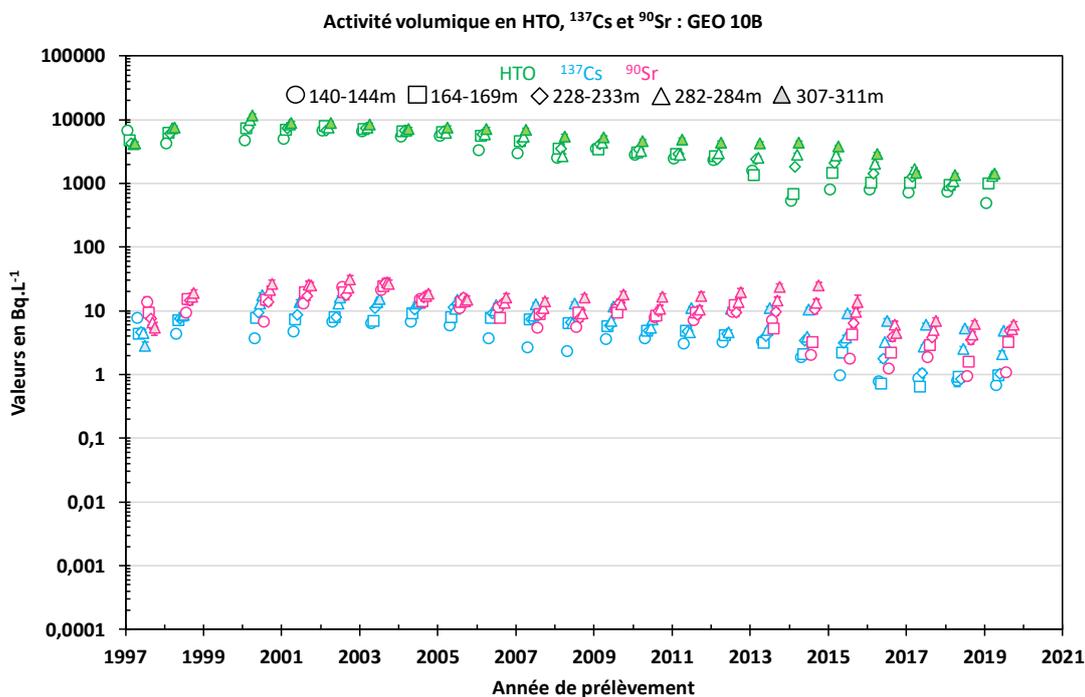


Figure 140. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire GEO10B.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire ISURUS 10

Ce forage de la zone Ouest du lagon est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 6 cotes distinctes situées entre 260 m et 345 m de profondeur. Il traverse deux faciès de l'atoll : le faciès dolomitique entre 260 et 275 m et le faciès volcanique entre 315 et 345 m.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire ISURUS 10 sont regroupés dans le Tableau 58.

Tableau 58. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire ISURUS 10 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
ISURUS 10	260	01/04/2019	37,5 ± 3,1	≤ 1,6.10 ⁻³	(20,3 ± 2,6).10 ⁻³
	265		135 ± 8	(2,8 ± 1,6).10 ⁻³	(96 ± 15).10 ⁻³
	275		134 ± 8	(4,24 ± 0,76).10 ⁻³	(14,1 ± 1,8).10 ⁻³
	315		≤ 2,2		
	330		≤ 1,9		
	345		≤ 1,9		

La Figure 141 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

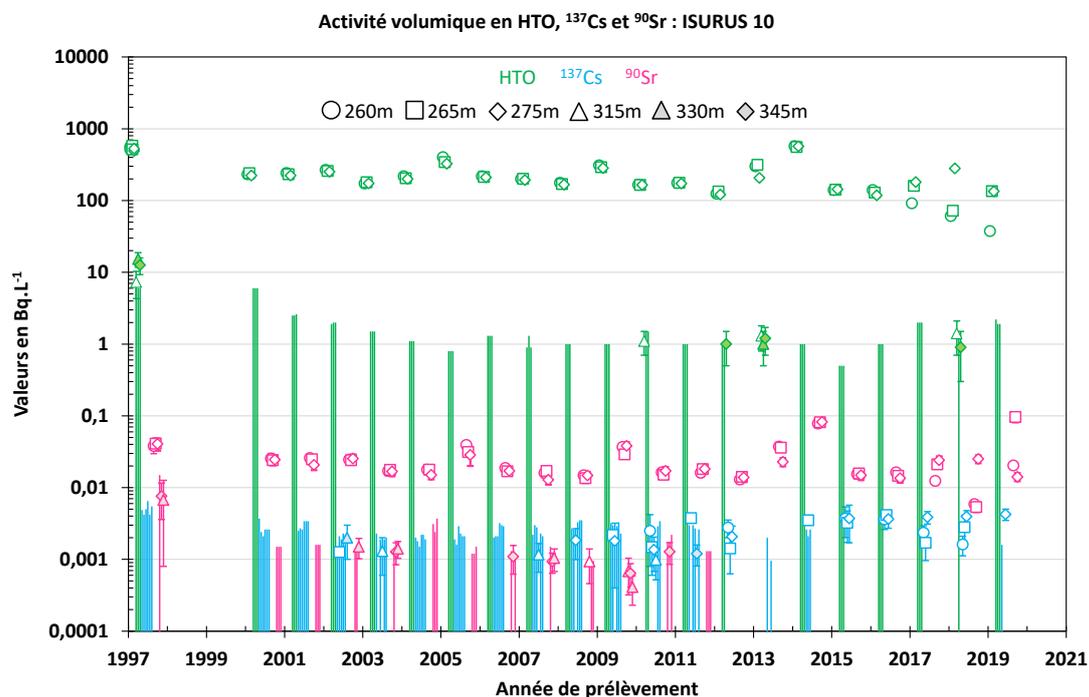


Figure 141. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire ISURUS 10.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire KRILL 23

Ce forage, à la limite des zones Sud et Nord du lagon, est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 6 cotes distinctes situées entre 181 m et 345 m de profondeur. Il traverse deux faciès de l'atoll : le faciès dolomitique entre 181 et 220 m et le faciès volcanique entre 310 et 345 m.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire KRILL 23 sont regroupés dans le Tableau 59.

Tableau 59. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire KRILL 23 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
KRILL 23	181	28/03/2019	4280 ± 220	≤ 1,6.10 ⁻³	(648 ± 80).10 ⁻³		
	193		895 ± 46	(1,83 ± 0,52).10 ⁻³	(150 ± 18).10 ⁻³		
	220		1900 ± 100	≤ 1,8.10 ⁻³	(152 ± 19).10 ⁻³	≤ 2,1.10 ⁻⁵	≤ 2,3.10 ⁻⁵
	310		≤ 1,8				
	330		≤ 1,8				
	345		≤ 1,8				

La Figure 142 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr et la Figure 143 celui du plutonium à la cote 220 depuis 1997.

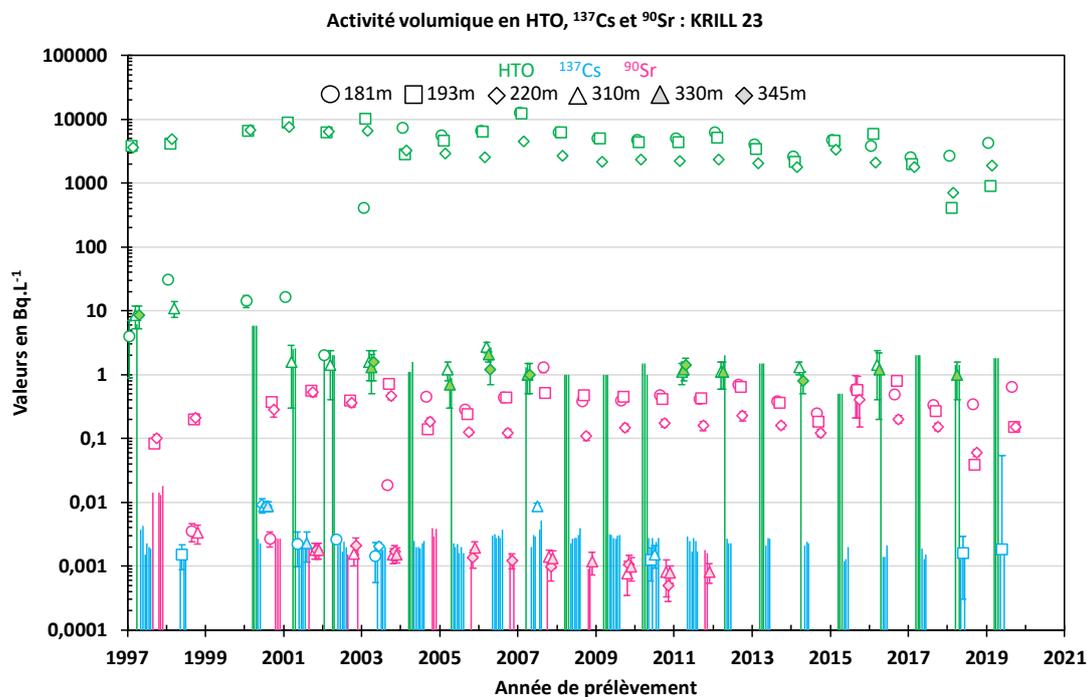


Figure 142. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire KRILL 23.

Pour les cotes de prélèvements 181 m, 193 m et 220 m (dans le faciès dolomitique), l'activité volumique en tritium est du même ordre de grandeur depuis 1997, avec une augmentation de l'activité volumique de 2002 à 2004 pour la cote 181 m. La même tendance est observée pour l'activité volumique du ^{90}Sr .

Pour les cotes de prélèvements 310 m, 330 m et 345 m, (dans le faciès volcanique), les activités en HTO, ^{137}Cs et ^{90}Sr sont proches ou sous les limites de détection des appareils de mesure.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

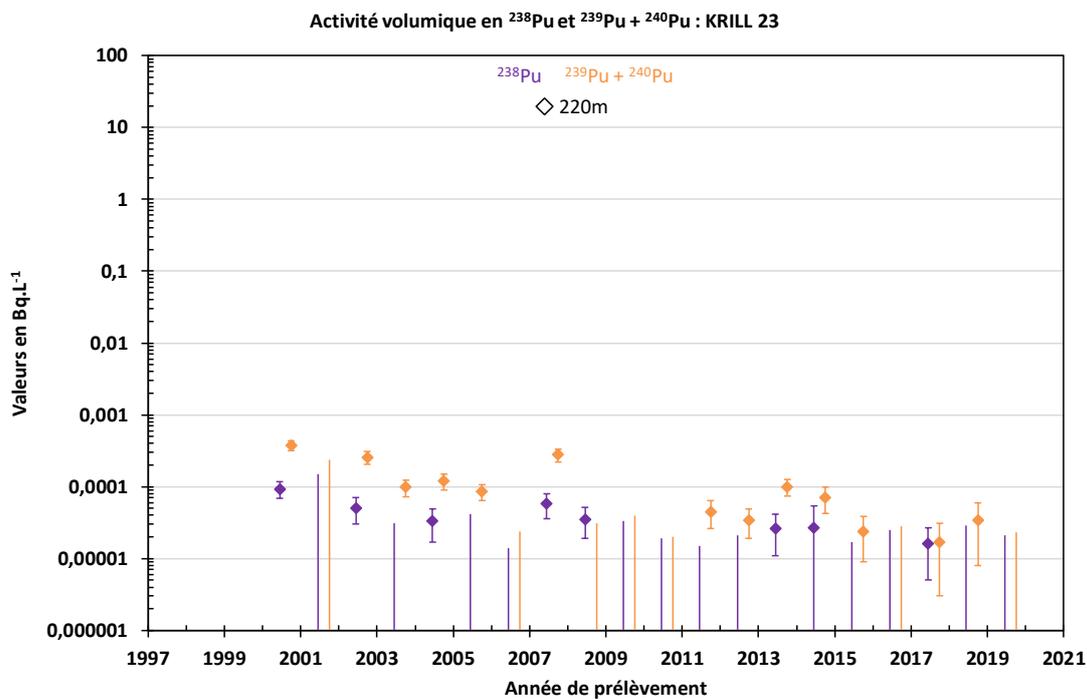


Figure 143. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 220 m depuis 1997 de l'observatoire KRILL 23.

Les activités volumiques du plutonium (^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) mesurées à la cote 220 m sont proches ou sous les limites de détection des appareils de mesure.

Observatoire LABRE 13

Ce forage de la zone Sud du lagon est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 3 cotes distinctes situées entre 145 m et 225 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire LABRE 13 sont regroupés dans le Tableau 60. Toutes les mesures en HTO en 2019 sont sous la limite de détection de l'appareil de mesure.

Tableau 60. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire LABRE 13 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO
LABRE 13	145	27/03/2019	≤ 1,8
	190		≤ 1,9
	225		≤ 1,9

La Figure 144 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

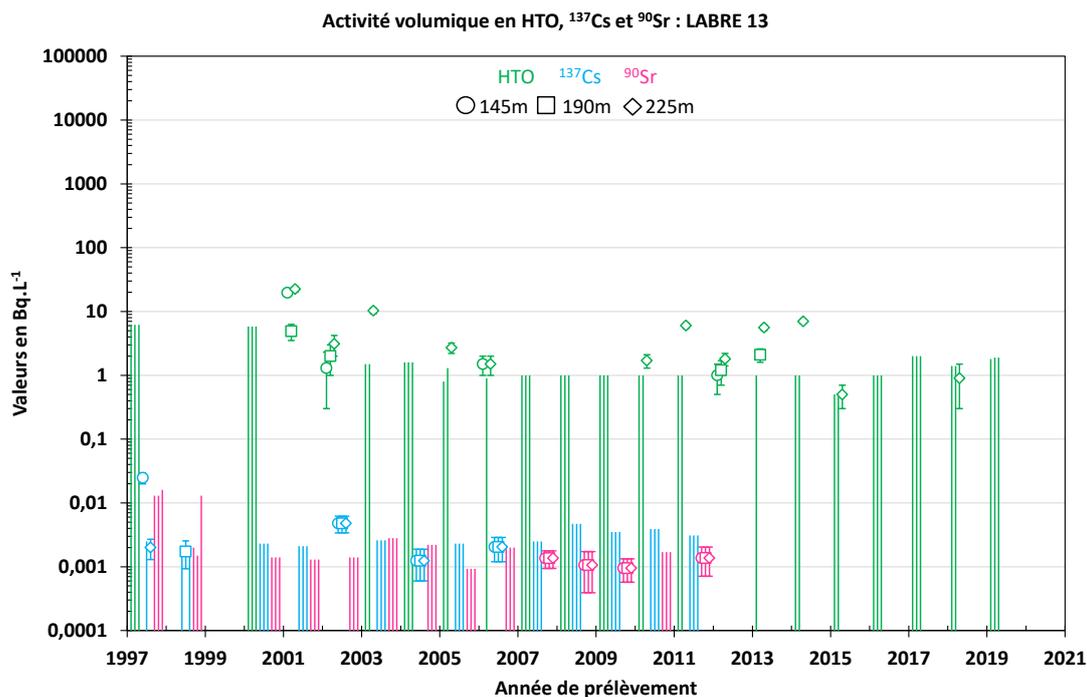


Figure 144. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire LABRE 13.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire MURENE 16

Ce forage situé en zone Sud, est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 4 cotes distinctes situées entre 100 m et 285 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire MURENE 16 sont regroupés dans le Tableau 61.

Tableau 61. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire MURENE 16 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
MURENE 16	100	27/03/2019	592 ± 31	$(0,72 \pm 0,46) \cdot 10^{-3}$	$(1,49 \pm 0,19) \cdot 10^{-2}$		
	185		1200 ± 60	$\leq 1,6 \cdot 10^{-3}$	$(3,64 \pm 0,46) \cdot 10^{-2}$		
	230		1360 ± 70	$\leq 1,5 \cdot 10^{-3}$	$(2,87 \pm 0,37) \cdot 10^{-2}$	$\leq 4,8 \cdot 10^{-5}$	$\leq 4,5 \cdot 10^{-5}$
	285		1400 ± 70	$\leq 1,5 \cdot 10^{-3}$	$(4,35 \pm 0,55) \cdot 10^{-2}$		

La Figure 145 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr et la Figure 146 celui du plutonium à la cote 230 m depuis 1997. Entre 1999 et 2004, année de remise en état des polytubes, MURENE 16 était inaccessible au fond du lagon.

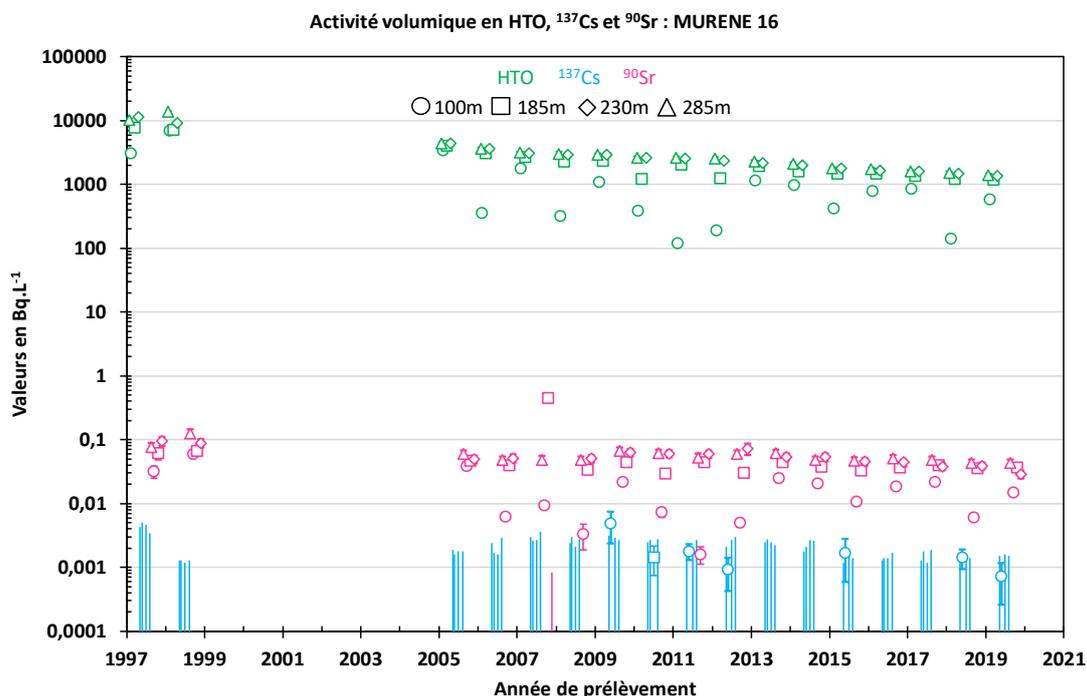


Figure 145. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire MURENE 16.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

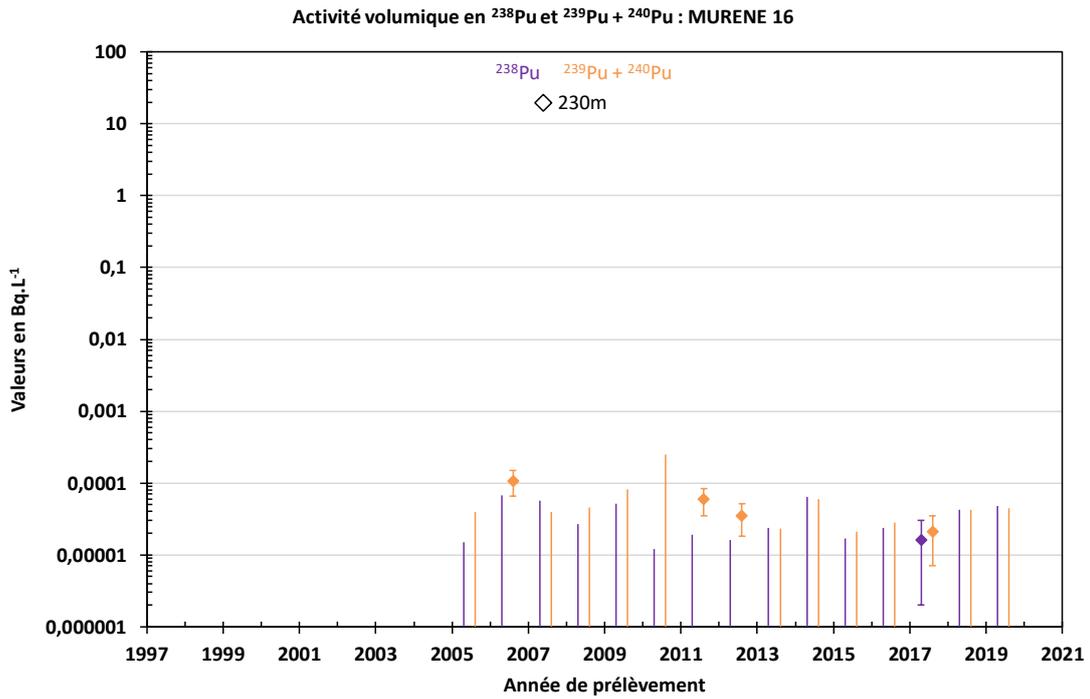


Figure 146. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 230 m depuis 1997 de l'observatoire MURENE 16.

Les activités volumiques du plutonium (^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) mesurées à la cote 230 m sont très proches ou sous les limites de détection des appareils de mesure (Figure 146).

Observatoire MURENE 27

Ce forage de la zone Nord du lagon est équipé d'un polytube permettant le prélèvement uniquement en une cote située à 100 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire MURENE 27 sont regroupés dans le Tableau 62.

Tableau 62. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire MURENE 27 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
MURENE 27	100	25/03/2019	≤ 1,9	≤ 1,9. 10 ⁻³	(1,34 ± 0,35).10 ⁻³

La Figure 147 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

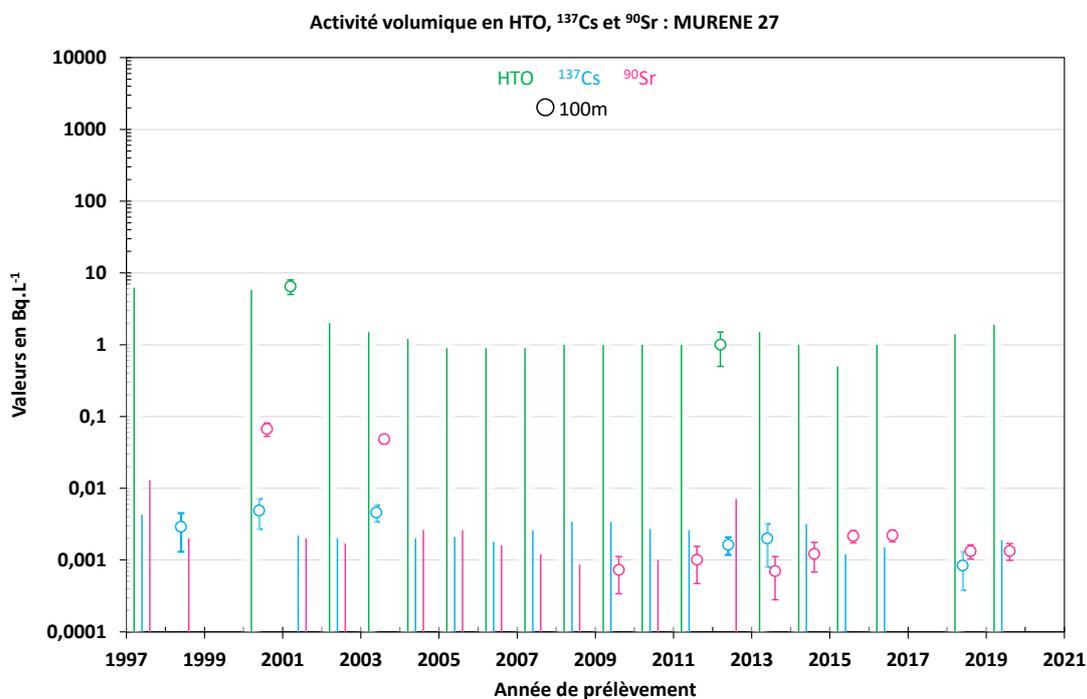


Figure 147. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire MURENE 27.

Les activités volumiques en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr sont systématiquement proches ou sous les limites de détection des appareils de mesure, depuis 2004.

Observatoire ORQUE 13

Ce forage de la zone Sud du lagon est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 3 cotes distinctes situées entre 99 m et 178 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire ORQUE 13 sont regroupés dans le Tableau 63.

Tableau 63. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire ORQUE 13 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO
ORQUE 13	99	20/03/2019	239 ± 13
	143		120 ± 7
	178		275 ± 15

La Figure 148 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

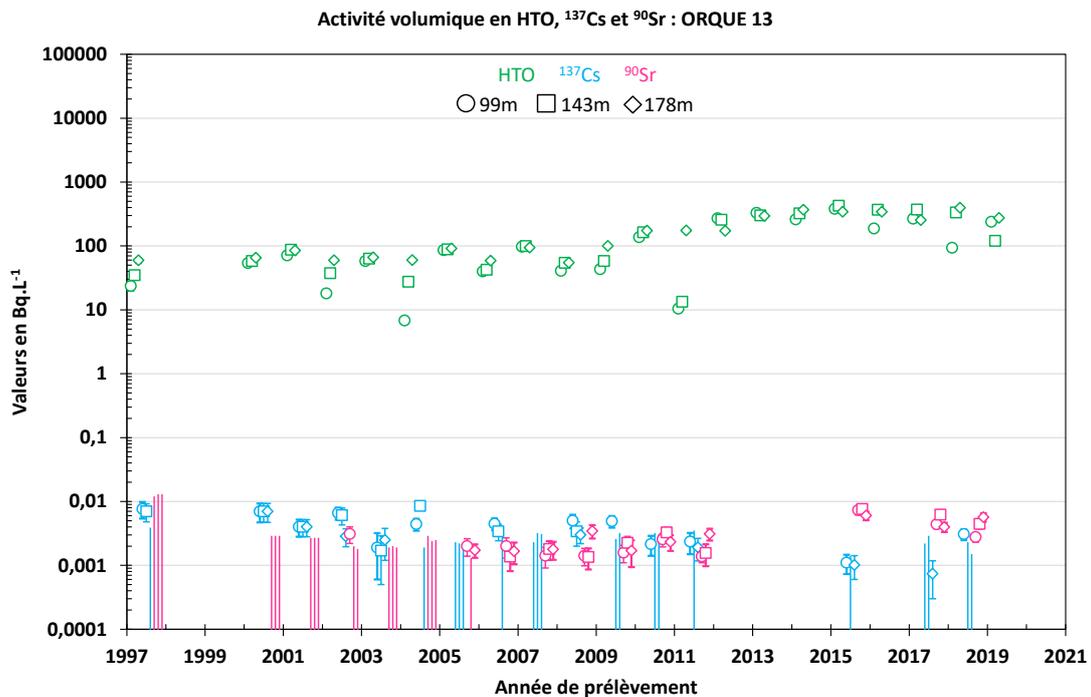


Figure 148. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire ORQUE 13.

Les valeurs d'activités en HTO et ⁹⁰Sr en 2019 restent globalement stables depuis 2012.

Observatoire PIEUVRE 23

Ce forage, à la limite des zones Sud et Nord du lagon, est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 3 cotes distinctes situées entre 100 m et 175 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire PIEUVRE 23 sont regroupés dans le Tableau 64.

Tableau 64. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire PIEUVRE 23 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
PIEUVRE 23	100	01/04/2019	42,6 ± 3,4	≤ 1,9.10 ⁻³	(2,90 ± 0,53).10 ⁻³
	145		40,6 ± 3,2	≤ 1,6.10 ⁻³	(2,68 ± 0,48).10 ⁻³
	175		41,4 ± 3,3	(1,78 ± 0,54).10 ⁻³	(3,22 ± 0,57).10 ⁻³

La Figure 149 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997. Ce polytube était inaccessible au fond de lagon de 1999 à 2004 (année de sa remise en état).

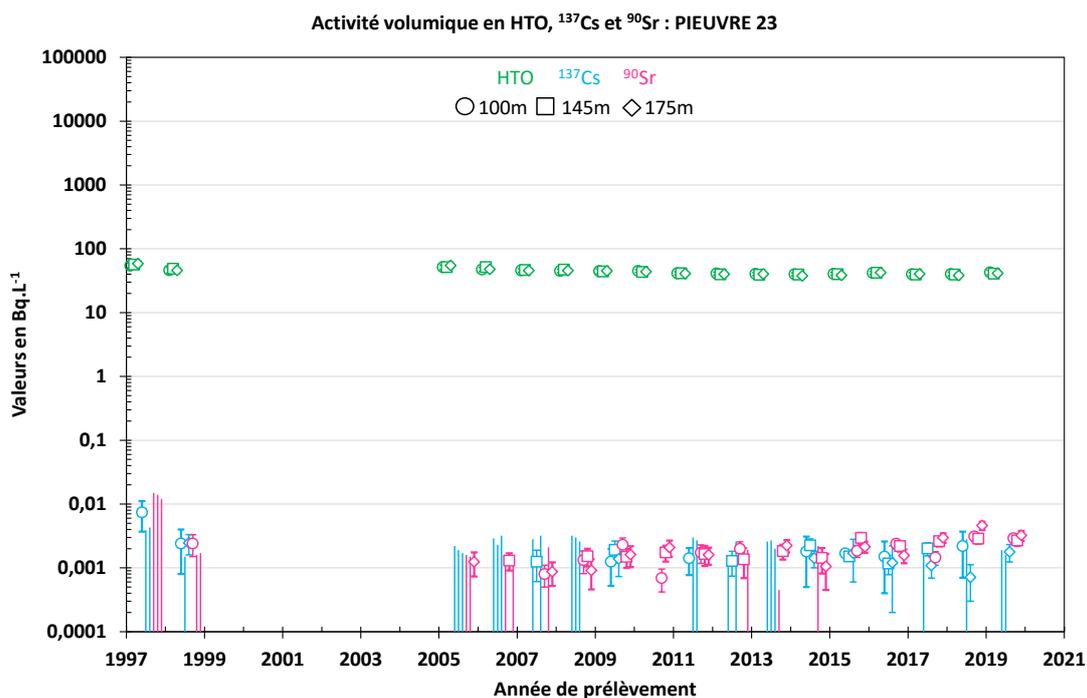


Figure 149. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire PIEUVRE 23.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire PIEUVRE 37

Ce forage de la zone Nord du lagon est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 3 cotes distinctes situées entre 260 et 300 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire PIEUVRE 37 sont regroupés dans le Tableau 65.

Tableau 65. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire PIEUVRE 37 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
PIEUVRE 37	260	29/03/2019	1390 ± 70	3,38 ± 0,31	3,86 ± 0,49		
	285		1580 ± 80	2,95 ± 0,27	4,30 ± 0,54		
	300		1720 ± 90	3,15 ± 0,29	4,45 ± 0,56	≤ 1,3.10 ⁻⁴	≤ 1,8.10 ⁻⁴

La Figure 150 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr et la Figure 151 celui du plutonium à la cote 300 m depuis 1997.

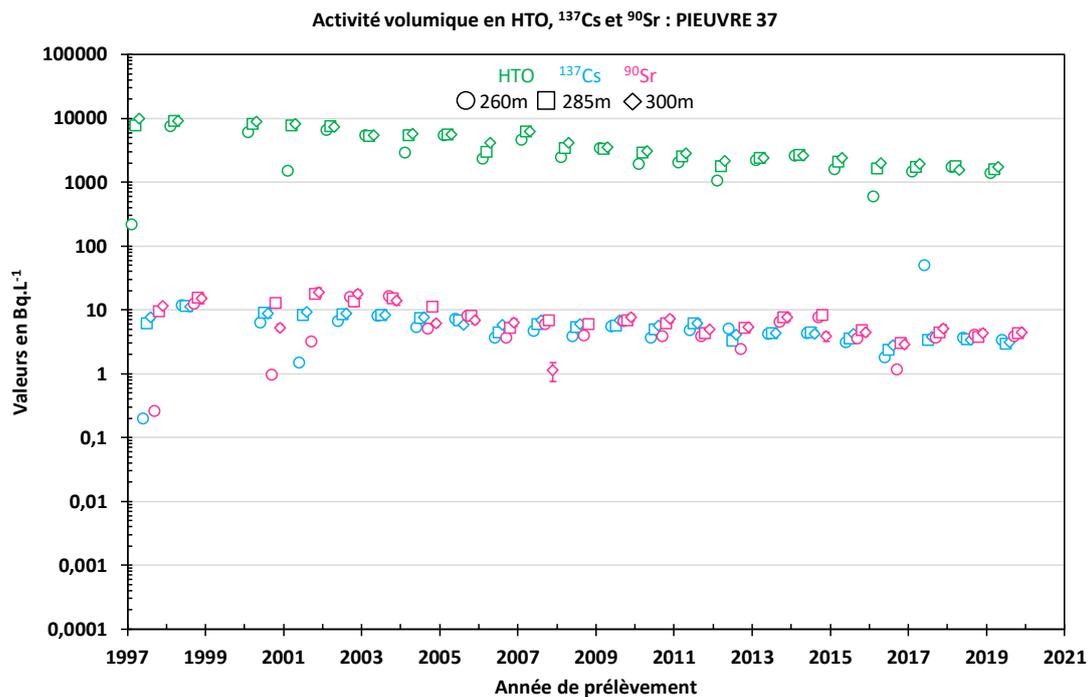


Figure 150. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire PIEUVRE 37.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures, avec une tendance à une légère baisse des niveaux d'activité, à la fois en HTO, en ⁹⁰Sr et en ¹³⁷Cs.

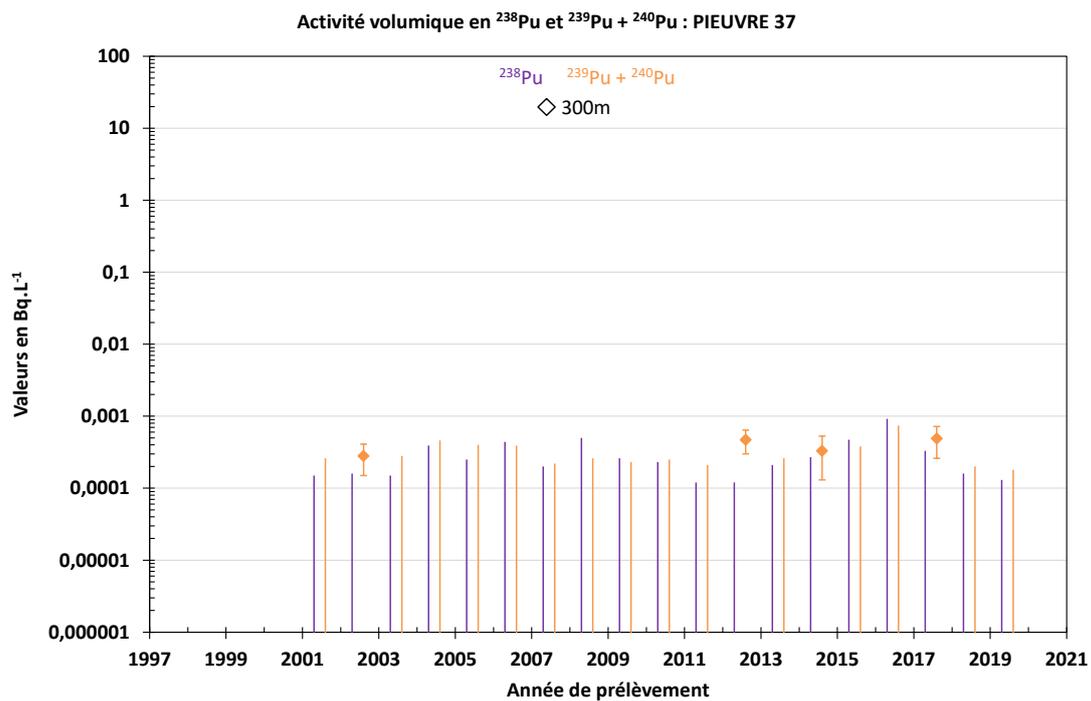


Figure 151. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 300 m depuis 1997 de l'observatoire PIEUVRE 37.

Les activités volumiques du plutonium (^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) mesurées à la cote 300 m sont très proches ou sous les limites de détection des appareils de mesure (Figure 151).

Observatoire PIEUVRE 39

Ce forage de la zone Nord du lagon est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 2 cotes distinctes situées entre 95 et 107 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire PIEUVRE 39 sont regroupés dans le Tableau 66.

Tableau 66. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire PIEUVRE 39 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO
PIEUVRE 39	95	29/0/2019	≤ 1,3
	107		≤ 1,3

La Figure 152 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

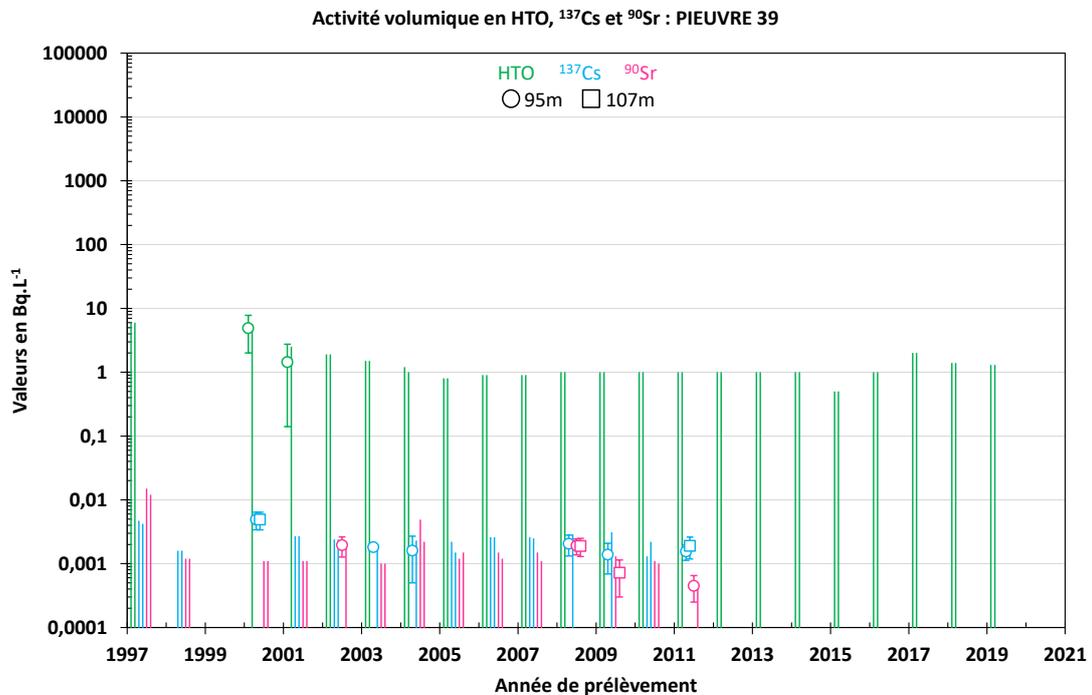


Figure 152. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire PIEUVRE 39.

Les valeurs mesurées en 2019 sont inférieures à la limite de détection des appareils de mesure.

Observatoire SCALAIRE 22

Ce forage à la limite entre les zones Sud et Est du lagon, est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 4 cotes distinctes situées entre 100 m et 245 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire SCALAIRE 22 sont regroupés dans le Tableau 67.

Tableau 67. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire SCALAIRE 22 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
SCALAIRE 22	100	20/03/2019	16,9 ± 2,1	(31,7 ± 5,2).10 ⁻³	(43,4 ± 5,5).10 ⁻³
	135		18,0 ± 2,1	(31,0 ± 4,8).10 ⁻³	(47,0 ± 5,9).10 ⁻³
	192		18,3 ± 2,2	(31,8 ± 4,2).10 ⁻³	(45,9 ± 5,8).10 ⁻³
	245		5,8 ± 1,6	(7,8 ± 3,0).10 ⁻³	(22,4 ± 2,9).10 ⁻³

La Figure 153 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

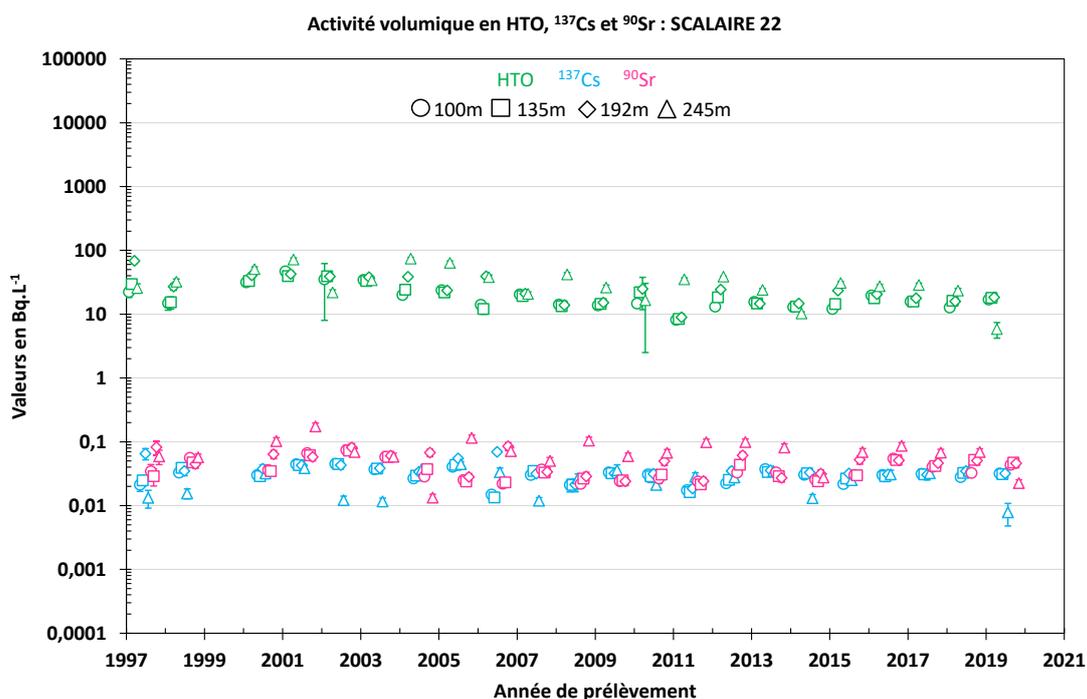


Figure 153. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire SCALAIRE 22.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire TAZARD 14

Ce forage de la zone Est du lagon est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 3 cotes distinctes situées entre 193 m et 290 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire TAZARD 14 sont regroupés dans le Tableau 68.

Tableau 68. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire TAZARD 14 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
TAZARD 14	193	21/03/2019	186 ± 10	(12,1 ± 2,9).10 ⁻³	(27,7 ± 3,5).10 ⁻³		
	245		1010 ± 50	(21,6 ± 2,8).10 ⁻³	(38,3 ± 4,8).10 ⁻³		
	290		1020 ± 50	(22,9 ± 4,1).10 ⁻³	(32,9 ± 4,2).10 ⁻³	≤ 1,8.10 ⁻⁵	≤ 3,2.10 ⁻⁵

La Figure 154 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr et la Figure 155 celui du plutonium à la cote 290 m depuis 1997.

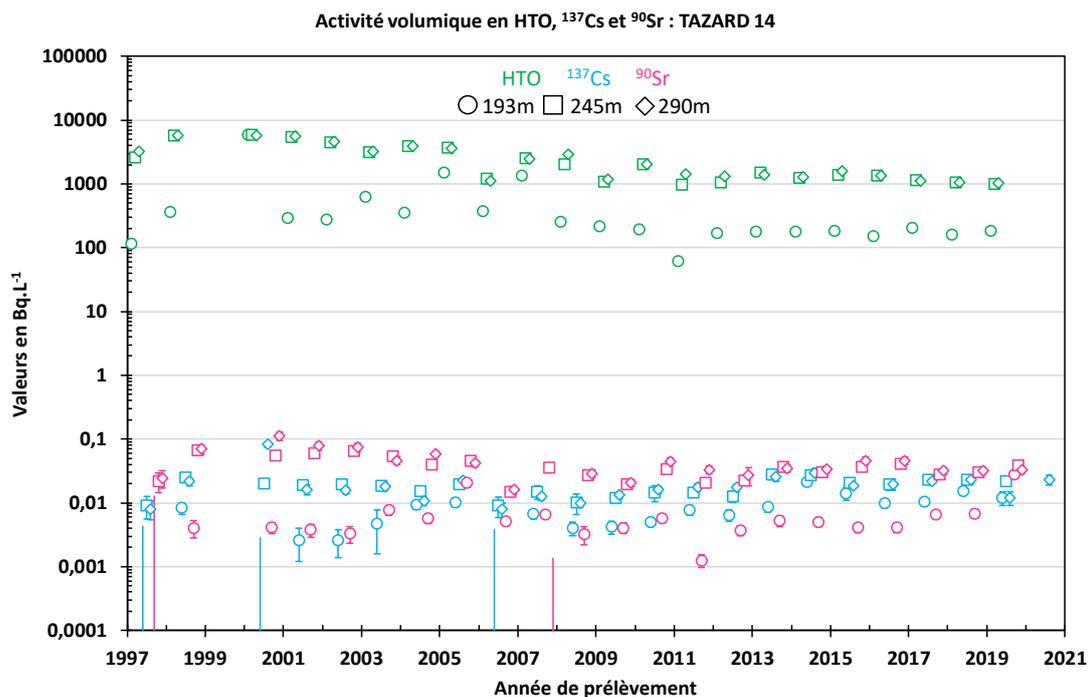


Figure 154. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire TAZARD 14.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

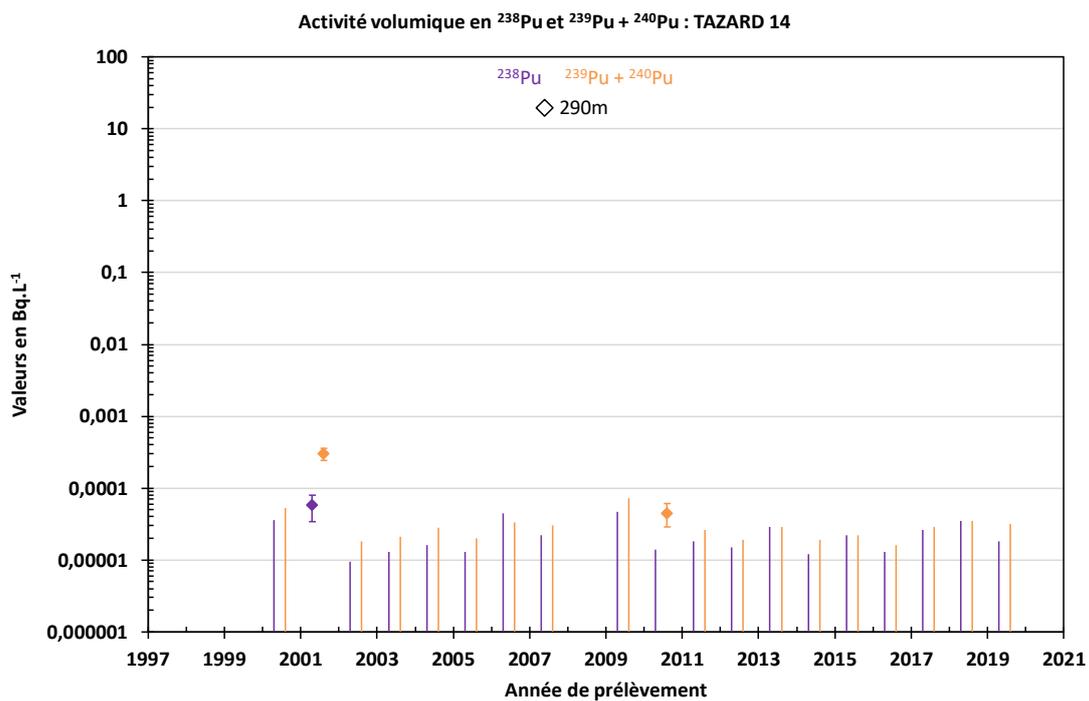


Figure 155. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 290 m depuis 1997 de l'observatoire TAZARD 14.

Les activités volumiques du plutonium (^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) mesurées depuis 2000 à la cote 290 m sont très proches ou sous les limites de détection des appareils de mesure (Figure 155).

Observatoire WHALE 30

Ce forage de la zone Est du lagon est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 4 cotes distinctes situées entre 207 m et 330 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire WHALE 30 sont regroupés dans le Tableau 69.

Tableau 69. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire WHALE 30 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO
WHALE 30	207	19/03/2019	≤ 1,3
	280		≤ 1,3
	290		≤ 1,3
	330		≤ 1,3

La Figure 156 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

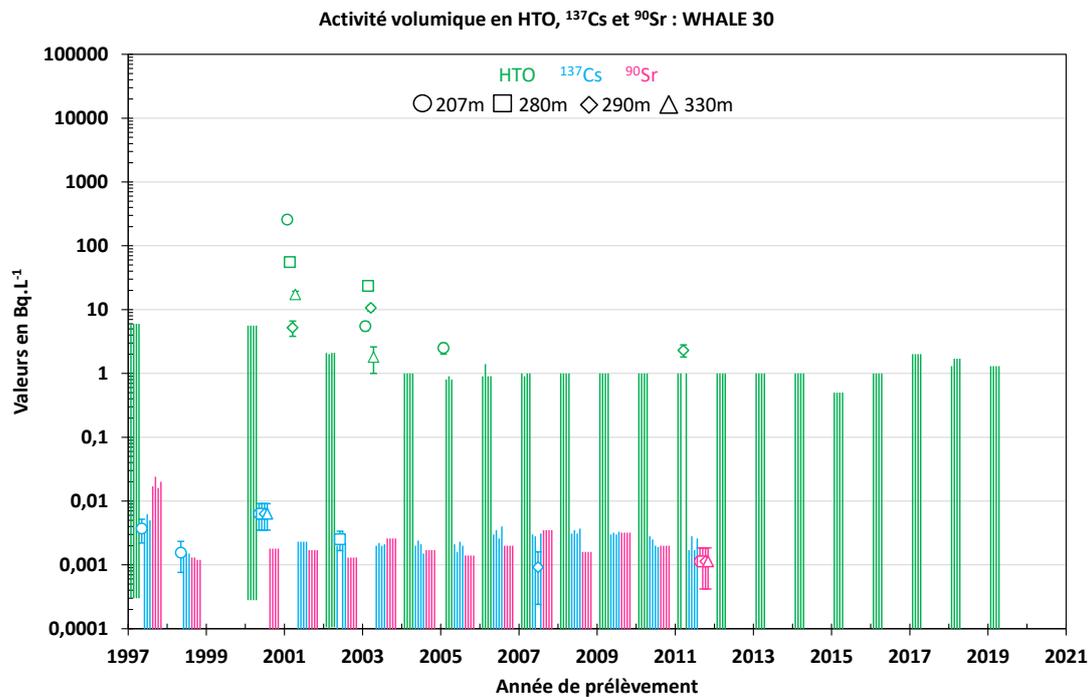


Figure 156. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire WHALE 30.

Les activités volumiques mesurées sont systématiquement proches ou inférieures à la limite de détection des appareils de mesure depuis 2004.

8.1.2.2 Représentation synthétique des concentrations de radionucléides mesurées dans les eaux souterraines à Moruroa

La Figure 157 présente l'activité maximale mesurée dans chaque observatoire en 2019 (Figure 157) à Moruroa.

Les observatoires des eaux souterraines peuvent être classés en trois groupes distincts selon les teneurs en HTO :

- 6 observatoires dont l'activité volumique est $<$ à 2 Bq.L^{-1} : DRAGON 09, FLET 08, PIEUVRE 39, WHALE 30, MURENE 27 et LABRE 13.
- 3 observatoires dont l'activité volumique est comprise entre 2 et 100 Bq.L^{-1} : GEO 5B, SCALAIRE 22 et PIEUVRE 23.
- 8 observatoires dont l'activité volumique est $>$ à 100 Bq.L^{-1} : GEO 10B, GEO 8B, PIEUVRE 37, TAZARD 14, MURENE 16, ORQUE 13, ISURUS 10 et KRILL 23.

La radioactivité en HTO des eaux souterraines des observatoires à Moruroa est relativement stable depuis 1997.

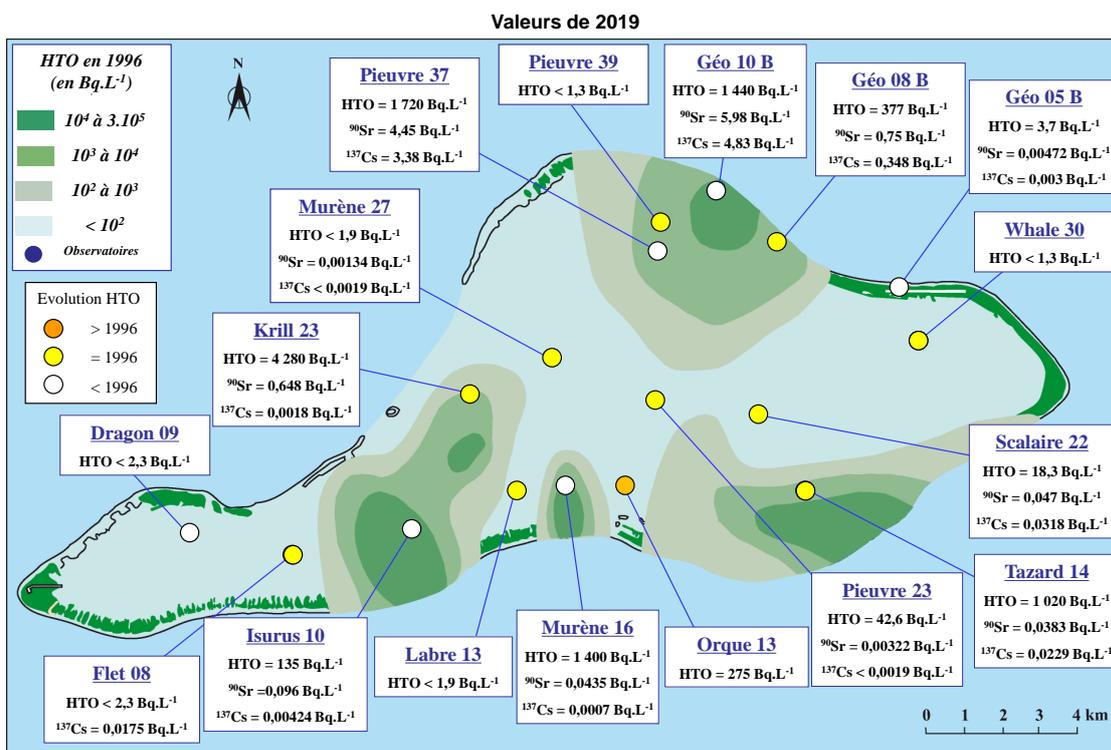


Figure 157. Gradient horizontal de l'activité volumique du tritium dans les eaux souterraines à Moruroa, pour la période 1994-1996 et concentrations maximales de radionucléides mesurées dans les eaux souterraines en 2019.

8.1.2.3 Les observatoires de Fangataufa

Cette partie présente les résultats des activités en radionucléides, d'origine artificielle, mesurées sur l'ensemble des eaux souterraines. La position et la liste des observatoires des eaux souterraines à Fangataufa sont présentées dans la Figure 132.

Il est rappelé qu'en 2004, 2005 et 2016, les prélèvements n'ont pas pu être réalisés à Fangataufa.

La Figure 158 présente la concentration en tritium des eaux souterraines dans les carbonates établies pour la période 1994-1996, ainsi que les valeurs maximales d'activités mesurées en HTO, ^{90}Sr , ^{137}Cs pour cette période dans chaque observatoire.

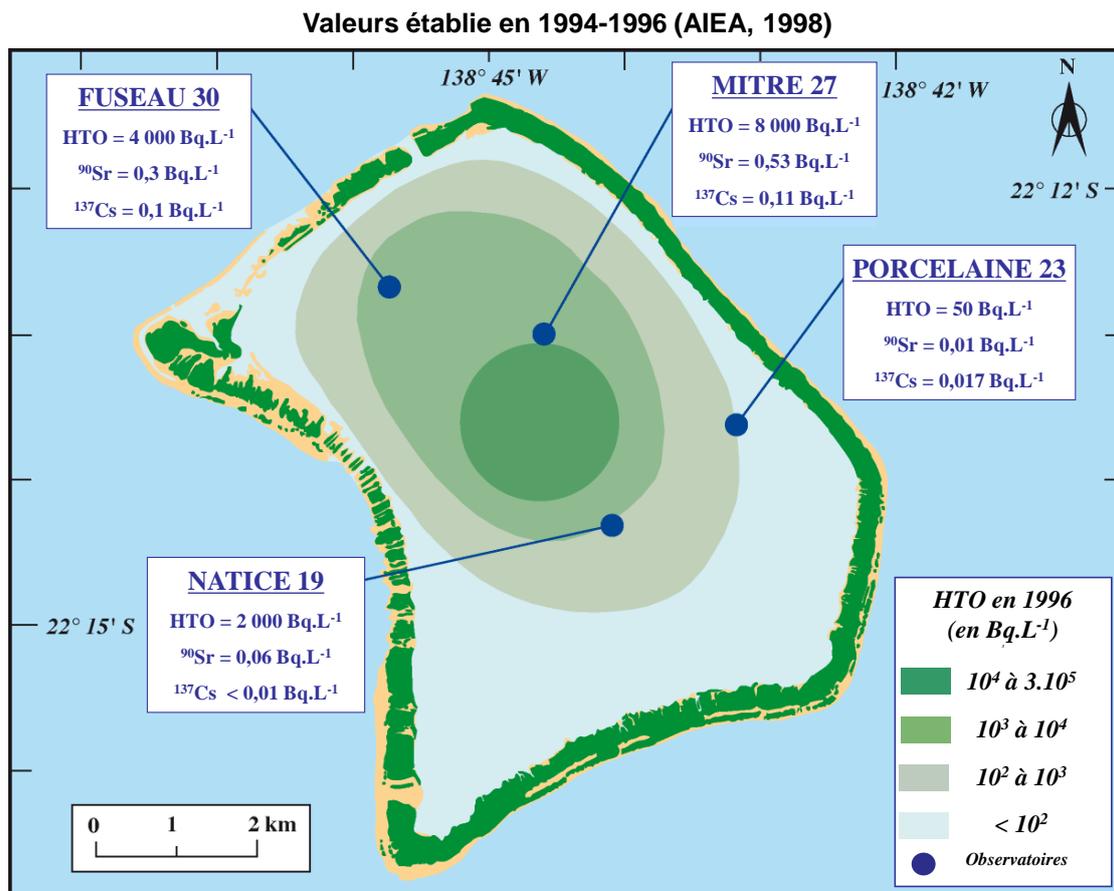


Figure 158. Gradient horizontal de l'activité volumique du tritium dans les eaux souterraines à Fangataufa, pour la période 1994-1996.

Observatoire FUSEAU 30

Ce forage est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 4 cotes distinctes situées entre 193 m et 268 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire FUSEAU 30 sont regroupés dans le Tableau 70.

Tableau 70. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire FUSEAU 30 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
FUSEAU 30	193	08/04/2019	1030 ± 50	(91,1 ± 21).10 ⁻³	(251 ± 31).10 ⁻³	≤ 1,9.10 ⁻⁵	≤ 2,4.10 ⁻⁵
	215		725 ± 38	(63,3 ± 8,3).10 ⁻³	(205 ± 25).10 ⁻³		
	255		304 ± 16	(22,6 ± 2,7).10 ⁻³	(67,9 ± 8,8).10 ⁻³		
	268		288 ± 15	(24,1 ± 3,0).10 ⁻³	(76,1 ± 9,9).10 ⁻³		

La Figure 159 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr et la Figure 160 celui du plutonium à la cote 193 m depuis 1997.

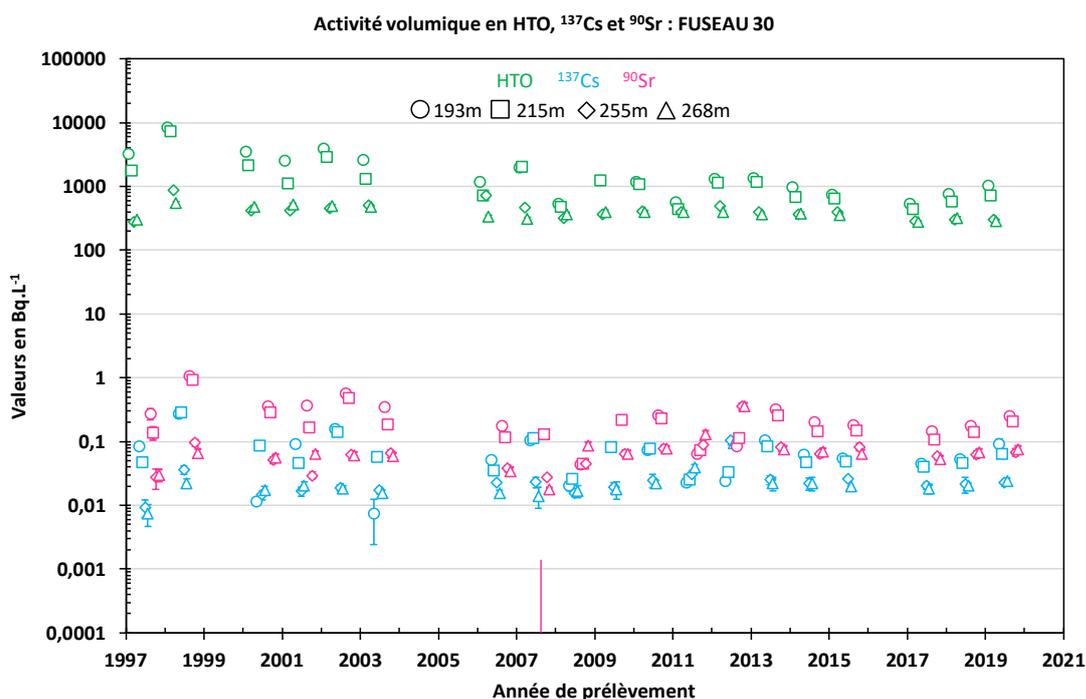


Figure 159. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire FUSEAU 30 depuis 1997.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Les activités volumiques du plutonium (²³⁸Pu et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu) mesurées à la cote 193 m sont proches ou inférieures aux limites de détection depuis 1997.

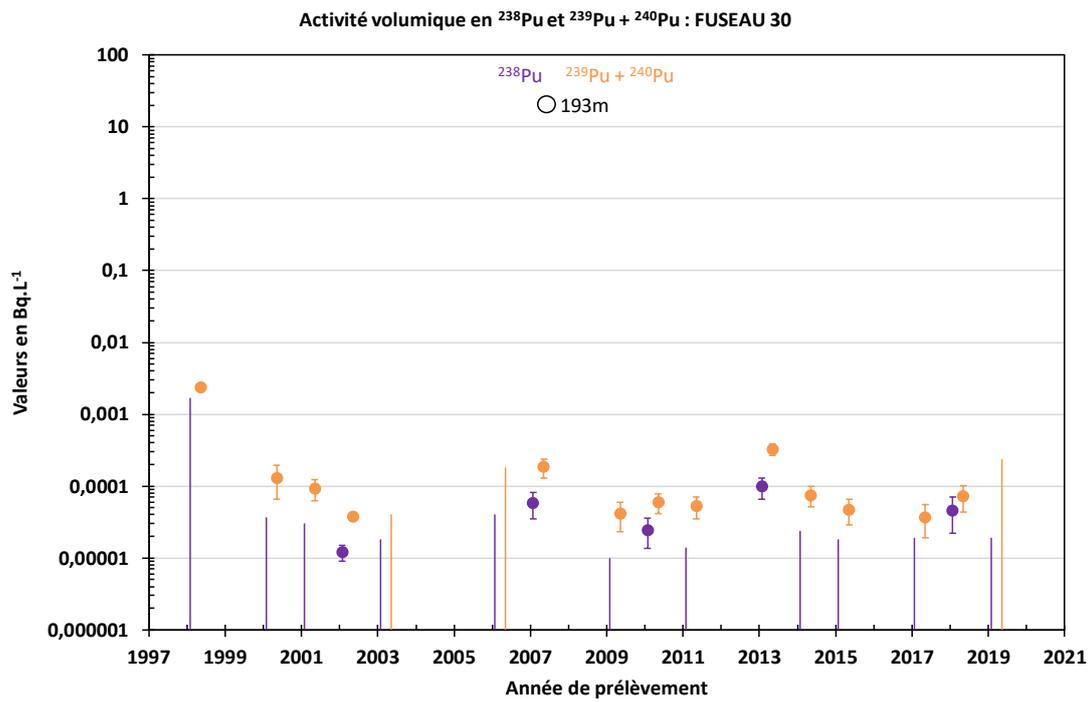


Figure 160. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 193 m depuis 1997 de l'observatoire FUSEAU 30.

Observatoire MITRE 27

Ce forage est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 2 cotes distinctes situées entre 233 m et 239 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire MITRE 27 sont regroupés dans le Tableau 71.

Tableau 71. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire MITRE 27 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO
MITRE 27	233-235	09/04/2019	1,1 ± 0,6
	237-239		≤ 1,3

La Figure 161 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

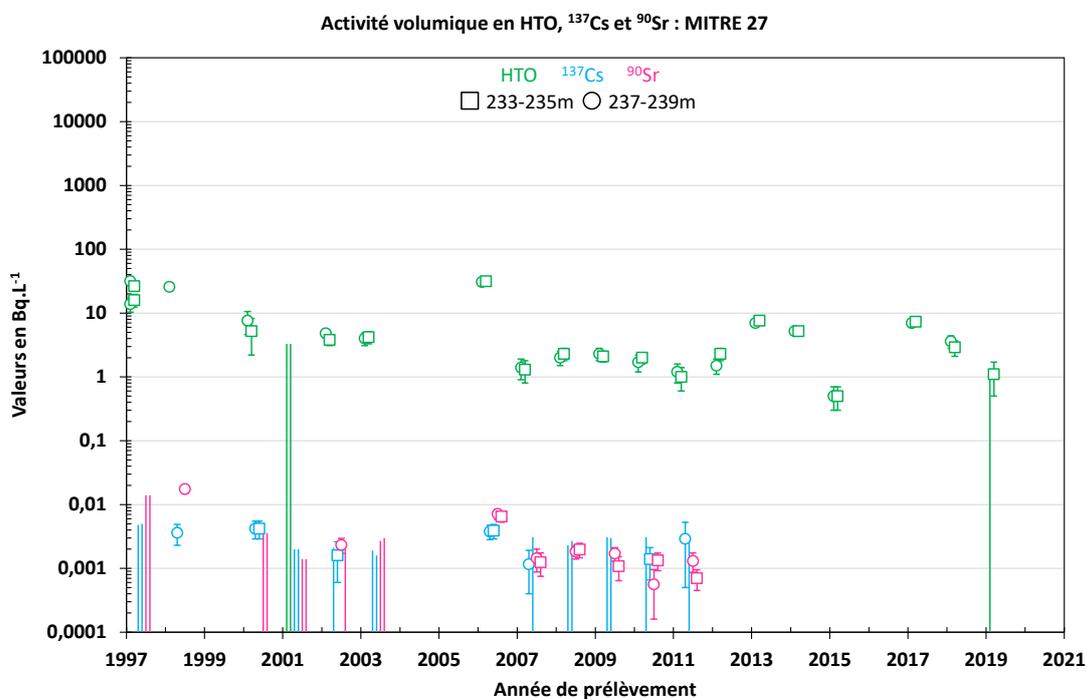


Figure 161. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire MITRE 27.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire NATICE 19

Ce forage est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 4 cotes distinctes situées entre 200 m et 340 m de profondeur. Il recoupe deux faciès de l'atoll de Fangataufa : le faciès dolomitique (cotes 200 m et 235 m) et le faciès volcanique (cotes 320 m et 340 m).

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire NATICE 19 sont regroupés dans le Tableau 72.

Tableau 72. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire NATICE 19 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
NATICE 19	200	09/04/2019	266 ± 15	≤ 1,6.10 ⁻³	(26,6 ± 3,4).10 ⁻³
	235		170 ± 10	≤ 1,5.10 ⁻³	(19,9 ± 2,6).10 ⁻³
	320		1,0 ± 0,6		
	340		1,38 ± 0,61		

La Figure 162 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1997.

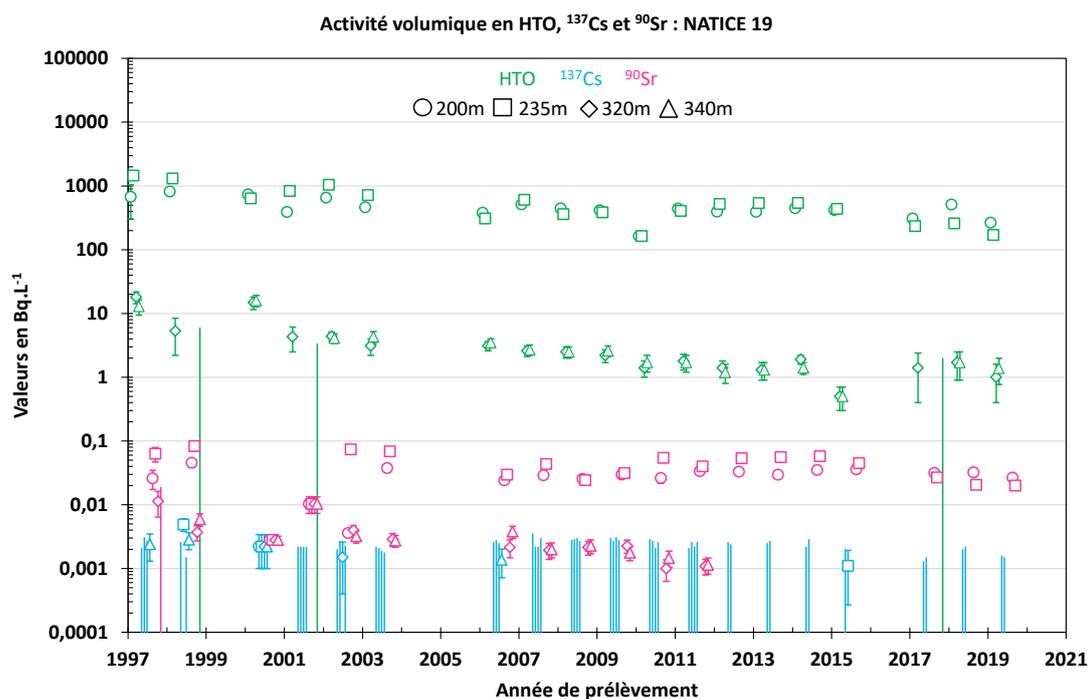


Figure 162. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire NATICE 19.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

Observatoire PORCELAINE 23

Ce forage est équipé d'un polytube permettant le prélèvement à 3 cotes distinctes situées entre 203 m et 270 m de profondeur.

Les résultats des analyses de l'année 2019 faites sur les eaux souterraines de l'observatoire PORCELAINE 23 sont regroupés dans le Tableau 73.

Tableau 73. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire PORCELAINE 23 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.

Observatoire	Cote (en m)	Date	HTO	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
PORCELAINE 23	203	10/04/2019	123 ± 7	$(2,60 \pm 0,63) \cdot 10^{-3}$	$(7,9 \pm 1,1) \cdot 10^{-3}$
	257		11,4 ± 1,9	$\leq 2,3 \cdot 10^{-3}$	$(1,67 \pm 0,37) \cdot 10^{-3}$
	270		5,6 ± 1,6	$\leq 5,0 \cdot 10^{-3}$	$(1,30 \pm 0,32) \cdot 10^{-3}$

La Figure 163 présente le suivi de l'activité volumique de cet observatoire en HTO, ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr.

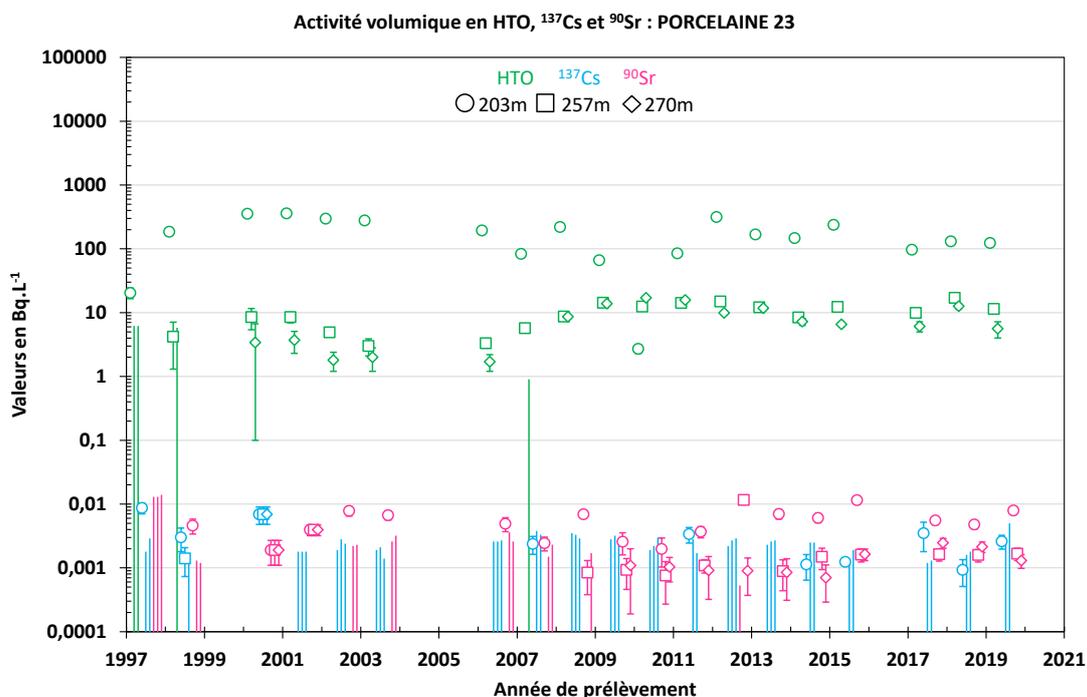


Figure 163. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire PORCELAINE 23.

Les valeurs mesurées en 2019 sont cohérentes avec les valeurs des années antérieures.

8.1.2.4 Représentation synthétique des concentrations de radionucléides mesurées dans les eaux souterraines à Fangataufa

La Figure 164 présente l'activité maximale mesurée dans chaque observatoire en 2019 (Figure 164) à Fangataufa.

Les observatoires des eaux souterraines peuvent être classés en deux groupes distincts selon les teneurs en HTO :

- 1 observatoire dont l'activité volumique est comprise entre 2 et 100 Bq.L⁻¹ : MITRE 27.
- 3 observatoires dont l'activité volumique est > à 100 Bq.L⁻¹ : FUSEAU 30, NATICE 19 et PORCELAINE 23.

La radioactivité en HTO des eaux souterraines des observatoires à Fangataufa est relativement stable depuis 1997.

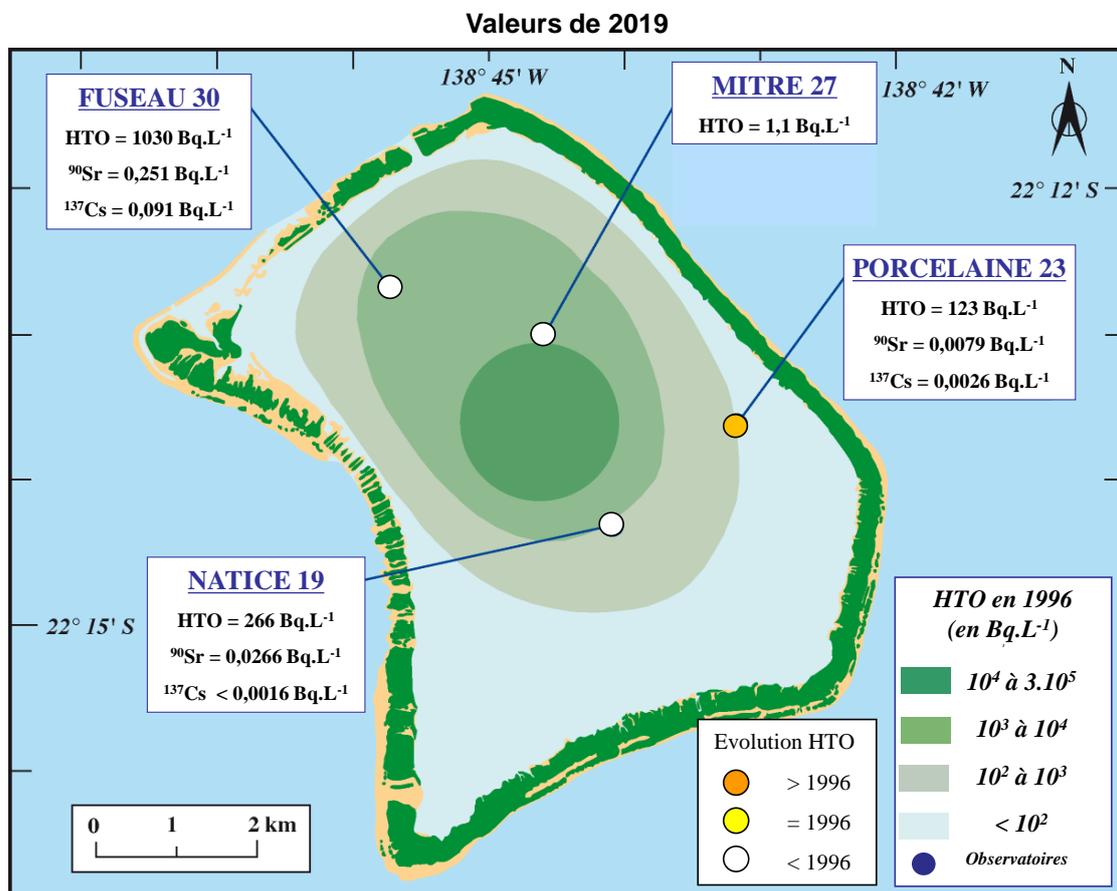


Figure 164. Gradient horizontal de l'activité volumique du tritium dans les eaux souterraines à Fangataufa, pour la période 1994-1996 et concentrations maximales de radionucléides mesurées dans les eaux souterraines en 2019.

8.2 Annexe 2 : Tableaux récapitulatifs des résultats 2019

Tableau 74. Résultats des prélèvements biologiques. Les valeurs sont exprimées en Bq.kg⁻¹ frais. S.O. : sans objet. **Les valeurs de 2017 sont reportées en bleu.**

Prélèvement	Atoll	Localisation	Date	Réf.	⁴⁰ K	⁶⁰ Co	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁸ Pu + ²⁴⁰ Pu
Coproah	Fangataufa	Frégate	08/04/2019	500	1,225E+02 ± 0,088E+02	≤ 2,6E-02	≤ 1,3E-02	1,86E-01 ± 0,14E-01	≤ 3,2E-04	5,2E-04 ± 2,9E-04
		Kilo coco	08/04/2019	501	1,192E+02 ± 0,084E+02	≤ 2,6E-02	3,22E-01 ± 0,43E-01	3,68E-01 ± 0,24E+01	2,70E-03 ± 0,65E-03	8,6E-03 ± 1,1E-03
	Moruroa	Zone Est	19/03/2019	502	9,78E+01 ± 0,81E+01	≤ 2,4E-02	≤ 1,3E-02	2,12E-01 ± 0,29E-01	≤ 1,2E-03	≤ 5,7E-04
		Zone Nord	19/03/2019	503	1,081E+02 ± 0,089E+02	≤ 2,8E-02	1,04E-02 ± 0,54E-02	1,37 ± 0,11	≤ 7,9E-04	3,54E-03 ± 0,98E-03
Eau de coco	Fangataufa	Zone Ouest	27/03/2019	504	1,46E+02 ± 0,11E+02	≤ 3,2E-02	≤ 1,3E-02	4,1E-02 ± 1,7E-02	≤ 1,4E-03	≤ 1,6E-03
		Frégate	08/04/2019	505	4,69E+01 ± 0,38E+01	≤ 1,1E-02	≤ 3,5E-03	3,62E-02 ± 0,33E-02	≤ 2,3E-04	≤ 2,3E-04
		Kilo coco	08/04/2019	506	4,01E+01 ± 0,33E+01	≤ 6,6E-03	1,87E-01 ± 0,24E-01	3,75 ± 0,27	1,15E-04 ± 0,74E-04	2,4E-04 ± 1,1E-04
	Moruroa	Zone Est	19/03/2019	507	1,94E+01 ± 0,17E+01	≤ 4,3E-03	≤ 1,8E-03	6,18E-03 ± 0,98E-03	≤ 9,5E-05	≤ 9,5E-05
Plancton de lagon		Zone Nord	19/03/2019	508	3,26E+01 ± 0,28E+01	≤ 7,0E-03	≤ 3,4E-03	5,61E-01 ± 0,42E-01	≤ 1,7E-04	≤ 1,1E-04
		Zone Ouest	27/03/2019	509	4,80E+01 ± 0,39E+01	≤ 1,1E-02	≤ 5,4E-03	≤ 6,0E-03	≤ 2,6E-04	≤ 1,8E-04
	Fangataufa	Sud vers la Passe	08/04/2019	514	5,18E+01 ± 0,46E+01	2,22E-01 ± 0,27E-01	S.O.	≤ 3,1E-02	7,55E-01 ± 0,45E-01	2,54 ± 0,14
	Moruroa	Zone Est	04/04/2019	515	3,59E+01 ± 0,31E+01	≤ 1,1E-01	S.O.	≤ 6,3E-02	3,02 ± 0,12	2,268E+01 ± 0,082E+01
Troca	Fangataufa	Zone Est	09/04/2019	516	8,22E+01 ± 0,80E+01	7,3E-02 ± 1,3E-02	S.O.	1,7E-02 ± 1,1E-02	2,71E-01 ± 0,18E-01	8,13E-01 ± 0,53E-01
	Moruroa	Zone Est	20/03/2019	517	8,6E+01 ± 1,1E+01	≤ 3,2E-02	S.O.	1,40E-02 ± 0,49E-02	3,78E-02 ± 0,45E-02	3,50E-01 ± 0,36E-01
Chirurgien	Fangataufa	Zone Est	09/04/2019	510	8,85E+01 ± 0,66E+01	3,88E-02 ± 0,83E-02	S.O.	7,4E-02 ± 2,8E-02	3,94E-02 ± 0,48E-02	1,255E-01 ± 0,097E-01
	Moruroa	Zone Est	20/03/2019	511	8,64E+01 ± 0,63E+01	≤ 3,1E-02	S.O.	6,14E-02 ± 0,78E-02	8,3E-03 ± 2,2E-03	4,20E-02 ± 0,50E-02
Méro	Fangataufa	Zone Est	11/04/2019	512	1,49E+02 ± 0,12E+02	≤ 3,5E-02	≤ 1,3E-02	4,18E-01 ± 0,34E-01	≤ 7,0E-04	≤ 8,9E-04
	Moruroa	Zone Est	20/03/2019	513	1,43E+02 ± 0,12E+02	≤ 3,8E-02	≤ 1,3E-02	2,41E-01 ± 0,30E-01	≤ 1,1E-03	9,4E-04 ± 6,3E-04
Turbo soyeux	Fangataufa	Zone Est	09/04/2019	523	9,37E+01 ± 0,80E+01	≤ 3,4E-02	≤ 2,1E-02	1,44E-02 ± 0,51E-02	6,33E-02 ± 0,57E-02	1,96E-01 ± 0,13E-01
	Moruroa	Zone Est	21/03/2019	524	9,18E+01 ± 0,75E+01	≤ 3,6E-02	≤ 2,1E-02	1,31E-02 ± 0,60E-02	1,49E-03 ± 0,82E-03	1,40E-02 ± 0,24E-02
Plancton de flancs d'atoll	Fangataufa	Tour atoll	24/03/2019	519	2,97E+01 ± 0,25E+01	≤ 5,4E-02	≤ 2,1E-02	≤ 3,0E-02	2,17E-02 ± 0,39E-02	1,34E-01 ± 0,11E-01
	Moruroa	Secteur 2	23/03/2019	520	3,52E+01 ± 0,31E+01	≤ 4,6E-02	S.O.	≤ 3,0E-02	8,43E-02 ± 0,82E-02	1,190E+01 ± 0,060E+01
Crevette de profundeur	Moruroa	Secteur 2	23/03/2019	518	7,05E+01 ± 0,54E+01	≤ 3,0E-02	S.O.	≤ 2,6E-02	≤ 3,2E-03	8,0E-03 ± 2,7E-03
	Fangataufa	Secteur 4	10/04/2019	521	1,51E+02 ± 0,13E+02	≤ 3,8E-02	≤ 2,0E-02	1,80E-02 ± 0,51E-02	≤ 1,1E-03	≤ 8,5E-04
Poisson pélagique côtier	Moruroa	Secteur 4	27/03/2019	522	1,48E+02 ± 0,13E+02	≤ 3,7E-02	≤ 1,6E-02	1,69E-01 ± 0,16E-01	≤ 1,1E-03	≤ 1,2E-03
Poisson pélagique hauturier	Moruroa	Secteur 1	27/03/2019	526	1,33E+02 ± 0,11E+02	≤ 3,6E-02	≤ 1,4E-02	1,88E-01 ± 0,22E-01	≤ 1,1E-03	≤ 8,6E-04
	Moruroa	12 milles	16/03/2017	525	3,03E+01 ± 0,31E+01	≤ 5,8E-02	S.O.	≤ 3,8E-02	8,1E-03 ± 2,5E-03	3,45E-02 ± 0,52E-02

Tableau 75. Résultats des prélèvements atmosphériques. Les valeurs sont exprimées en Bq.

Année	Référence	Mois	Réf.	⁷ Be	²² Na	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁸ Pu + ²⁴⁰ Pu
2019	14 805	Janvier	600	322 ± 20	2,28E-02 ± 0,94E-02	0,70 ± 0,15	7,34 ± 0,81	≤ 1,6E-02	≤ 2,3E-04	1,24E-03 ± 0,27E-03
		Février	601	269 ± 17	≤ 2,6E-02	0,73 ± 0,27	5,29 ± 0,59	≤ 1,5E-02	1,7E-04 ± 1,2E-04	2,35E-03 ± 0,38E-03
		Mars	602	366 ± 23	≤ 2,4E-02	0,88 ± 0,16	4,60 ± 0,61	≤ 1,5E-02	≤ 2,9E-04	8,4E-04 ± 2,7E-04
		Avril	603	197 ± 12	≤ 2,5E-02	0,58 ± 0,23	2,41 ± 0,50	≤ 1,6E-02	≤ 2,5E-04	2,9E-04 ± 1,6E-04
		Mai	604	313 ± 20	≤ 2,8E-02	0,66 ± 0,29	3,65 ± 0,53	≤ 1,5E-02	≤ 1,6E-04	1,09E-03 ± 0,26E-03
		Juin	605	397 ± 25	3,7E-02 ± 1,0E-02	0,90 ± 0,31	5,23 ± 0,66	≤ 1,5E-02	≤ 2,1E-04	9,4E-04 ± 2,4E-04
		Juillet	606	305 ± 19	≤ 2,5E-02	0,84 ± 0,15	4,58 ± 0,50	≤ 1,5E-02	≤ 2,5E-04	1,03E-03 ± 0,28E-03
		Août	607	331 ± 21	4,5E-02 ± 2,1E-02	0,66 ± 0,35	5,69 ± 0,58	≤ 1,5E-02	≤ 3,0E-04	1,52E-03 ± 0,34E-03
		Septembre	608	411 ± 26	2,5E-02 ± 2,1E-02	0,68 ± 0,14	8,43 ± 0,79	≤ 1,5E-02	≤ 2,8E-04	1,91E-03 ± 0,37E-03
		Octobre	609	439 ± 27	4,6E-02 ± 3,9E-02	0,62 ± 0,13	10,02 ± 0,92	≤ 1,5E-02	≤ 1,4E-04	3,8E-04 ± 1,7E-04
		Novembre	610	299 ± 19	≤ 2,8E-02	0,51 ± 0,26	8,12 ± 0,77	≤ 1,5E-02	≤ 2,4E-04	2,12E-03 ± 0,38E-03
		Décembre	611	307 ± 19	3,3E-02 ± 2,8E-02	0,63 ± 0,26	6,20 ± 0,61	≤ 1,5E-02	≤ 2,3E-04	1,30E-03 ± 0,28E-03

Tableau 76. Résultats des prélèvements d'eaux. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹. S.O. : sans objet. **Les valeurs de 2017 sont reportées en bleu.**

Prélèvement	Atoll	Localisation	Cote (m)	Date	Réf.	HTO	Réf.	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
Eau du robinet	Moruroa	Martine		28/03/2019	329	≤ 0,5		≤ 1,4E-04	≤ 5,3E-04	≤ 4,9E-06	≤ 4,9E-06
		Aprion 06		26/03/2019	198	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Eaux du lagon	Moruroa	Gorgone 05		26/03/2019	202	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
		Orque 41		27/03/2019	214	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
		Pleuvre 27		28/03/2019	218	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
		Zanclus 25		25/03/2019	230	≤ 0,5		8,9E-04 ± 1,5E-04	8,2E-04 ± 5,0E-04	3,08E-05 ± 0,79E-05	1,58E-04 ± 0,18E-04
	Fangataufa	Troque 13		08/04/2019	242	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
		Mitre 09		08/04/2019	250	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
		Mitre 26		08/04/2019	238	≤ 0,5		5,8E-04 ± 1,2E-04	1,04E-03 ± 0,29E-03	1,81E-04 ± 0,25E-04	5,11E-04 ± 0,46E-04
		Radiale 1	400 m		254	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Eaux de flancs d'atoll	Moruroa	Radiale 2	400 m	22/03/2019	255	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
			600 m		257	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
			400 m		258	≤ 0,6		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
	Fangataufa	Radiale 3	400 m		260	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
			600 m		261	≤ 0,5		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
		subsurface		296	≤ 0,5	295		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Eaux océaniques	entre Moruroa et Fangataufa	200 m		298	≤ 0,5	297	7,0E-04 ± 1,9E-04	9,9E-04 ± 2,3E-04	S.O.	9,12E-07 ± 0,77E-07	
		400 m		300	≤ 0,5	299	5,8E-04 ± 1,7E-04	6,5E-04 ± 2,2E-04	S.O.	1,30E-06 ± 0,13E-06	
	600 m		302	≤ 0,6	301	2,60E-04 ± 0,95E-04	3,3E-04 ± 2,7E-04	S.O.	4,79E-06 ± 0,25E-06		
	800 m		304	≤ 0,5	303	2,13E-04 ± 0,96E-04	≤ 8,4E-04	S.O.	5,26E-06 ± 0,20E-06		
	1000 m		306	≤ 0,5	305	≤ 1,9E-04	≤ 8,3E-04	S.O.	3,69E-06 ± 0,18E-06		

Tableau 77. Résultats des prélèvements des eaux souterraines des puits lagon et terrestre. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹. S.O. : sans objet.

Atoll	Observatoire	Date	Cote (m)	Réf.	HTO	Réf.	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	
Moruroa	Dragon 09	26/03/2019	162	004	≤2,3		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
			205	005	≤2,2		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
			258	006	≤2,2		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
	Flet 08	26/03/2019	100	011	≤2,3	007	S.O.	1,75E-02 ± 0,28E-02	S.O.	S.O.	S.O.
			135	012	≤2,1	008	S.O.	6,18E-03 ± 0,93E-03	S.O.	S.O.	S.O.
			193	013	≤2,1	009	S.O.	1,94E-03 ± 0,71E-03	S.O.	S.O.	S.O.
			280	014	≤2,1	010	S.O.	≤2,7E-03	S.O.	S.O.	S.O.
			100-102	143	2,5 ± 0,6	137	4,32E-03 ± 0,67E-03		2,23E-03 ± 0,64E-03	S.O.	S.O.
	Géo 5 B	22/03/2019	149-151	144	1,35 ± 0,59	138	3,00E-03 ± 0,52E-03		≤2,2E-03	S.O.	S.O.
			185-187	145	2,2 ± 0,6	139	4,56E-03 ± 0,88E-03		1,52E-03 ± 0,45E-03	S.O.	S.O.
			215-217	146	2,76 ± 0,65	140	4,72E-03 ± 0,66E-03		2,0E-03 ± 1,4E-03	S.O.	S.O.
			228-230	147	3,3 ± 0,6	141	4,61E-03 ± 0,66E-03		2,34E-03 ± 0,60E-03	S.O.	S.O.
			264-266	148	3,7 ± 0,7	142	4,62E-03 ± 0,66E-03		3,0E-03 ± 1,9E-03	S.O.	S.O.
			107-110	153	2,22 ± 1,2	149	6,62E-01 ± 0,94E-01		8,5E-02 ± 3,9E-02	S.O.	S.O.
			158-168	154	3,03 ± 1,6	150	4,53E-01 ± 0,70E-01		1,28E-01 ± 0,86E-01	S.O.	S.O.
	Géo 8 B	22/03/2019	209-212	155	3,61 ± 1,9	151	6,95E-01 ± 0,97E-01		2,05E-01 ± 0,30E-01	S.O.	S.O.
			274-278	156	3,77 ± 2,0	152	7,5E-01 ± 1,0E-01		3,48E-01 ± 0,48E-01	S.O.	S.O.
			140	163	4,96 ± 2,6	157	1,07 ± 0,14		6,80E-01 ± 0,59E-01	S.O.	S.O.
			167	164	9,92 ± 5,2	158	3,22 ± 0,41		9,7E-01 ± 1,1E-01	S.O.	S.O.
	Géo 10 B	25/03/2019	231	165	flacons A et B brisés	159	4,83 ± 0,61		1,02 ± 0,16	S.O.	S.O.
			284	166	1300 ± 70	160	5,10 ± 0,64		2,11 ± 0,22	S.O.	S.O.
			311	167	1440 ± 70	161	5,98 ± 0,75		4,83 ± 0,32	S.O.	S.O.
			260	021	37,5 ± 3,1	015	2,03E-02 ± 0,26E-02		≤1,6E-03	S.O.	S.O.
			265	022	135 ± 8	016	9,6E-02 ± 1,5E-02		2,8E-03 ± 1,6E-03	S.O.	S.O.
Isurus 10 dolomies	01/04/2019	275	023	134 ± 8	017	1,41E-02 ± 0,18E-02		4,24E-03 ± 0,76E-03	S.O.	S.O.	
		315	024	≤2,2		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
Isurus 10 volcanisme		330	025	≤1,9		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		345	026	≤1,9		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		181	033	4280 ± 220	027	6,48E-01 ± 0,80E-01		≤1,6E-03	S.O.	S.O.	
Krill 23 dolomies	28/03/2019	193	034	895 ± 46	028	1,50E-01 ± 0,18E-01		1,83E-03 ± 0,52E-03	S.O.	S.O.	
		220*	035	1900 ± 100	029	1,52E-01 ± 0,19E-01		≤1,8E-03	≤2,1E-05	≤2,3E-05	
		310	036	≤1,8		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
Krill 23 volcanisme		330	037	≤1,8		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		345	038	≤1,8		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		145	042	≤1,8		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
Labre 13	27/03/2019	190	043	≤1,9		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		225	044	≤1,9		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	

Tableau 78. Résultats des prélèvements des eaux souterraines des puits lagon et terrestre. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹. S.O. : sans objet (suite).

Localisation	Observatoire	Date	Cote (m)	Réf.	HTO	Réf.	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
Moruroa	Murène 16	27/03/2019	100	051	592 ± 31	046	1,49E-02 ± 0,19E-02	7,2E-04 ± 4,6E-04	S.O.	S.O.
			185	052	1200 ± 60	047	3,64E-02 ± 0,46E-02	≤ 1,6E-03	S.O.	S.O.
			230*	053	1360 ± 70	048	2,87E-02 ± 0,37E-02	≤ 1,5E-03	≤ 4,8E-05	≤ 4,5E-05
			285	054	1400 ± 70	049	4,35E-02 ± 0,55E-02	≤ 1,5E-03	S.O.	S.O.
	Murène 27	25/03/2019	100	050	≤ 1,9	045	1,34E-03 ± 0,35E-03	≤ 1,9E-03	S.O.	S.O.
			99	058	239 ± 13	055	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
	Orque 13	20/03/2019	143	059	120 ± 7	056	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
			178	060	275 ± 15	057	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
	Pieuvre 23	01/04/2019	100	074	42,6 ± 3,4	071	2,90E-03 ± 0,53E-03	≤ 1,9E-03	S.O.	S.O.
			145	075	40,6 ± 3,2	072	2,68E-03 ± 0,48E-03	≤ 1,6E-03	S.O.	S.O.
	Pieuvre 37	29/03/2019	175	076	41,4 ± 3,3	073	3,22E-03 ± 0,57E-03	1,78E-03 ± 0,54E-03	S.O.	S.O.
			260	068	1390 ± 70	065	3,86 ± 0,49	3,38 ± 0,31	S.O.	S.O.
			285	069	1580 ± 80	066	4,30 ± 0,54	2,95 ± 0,27	S.O.	S.O.
			300*	070	1720 ± 90	067	4,45 ± 0,56	3,15 ± 0,29	≤ 1,3E-04	≤ 1,8E-04
	Pieuvre 39	29/03/2019	95	063	≤ 1,3		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
			107	064	≤ 1,3		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
	Scalaire 22	20/03/2019	100	087	16,9 ± 2,1	083	4,34E-02 ± 0,55E-02	3,17E-02 ± 0,52E-02	S.O.	S.O.
			135	088	18,0 ± 2,1	084	4,70E-02 ± 0,59E-02	3,10E-02 ± 0,48E-02	S.O.	S.O.
			192	089	18,3 ± 2,2	085	4,59E-02 ± 0,58E-02	3,18E-02 ± 0,42E-02	S.O.	S.O.
			245	090	5,8 ± 1,6	086	2,24E-02 ± 0,29E-02	7,8E-03 ± 3,0E-03	S.O.	S.O.
Tazard 14 dolomies	21/03/2019	193	100	186 ± 10	097	2,77E-02 ± 0,35E-02	1,21E-02 ± 0,29E-02	S.O.	S.O.	
		245	101	1010 ± 50	098	3,83E-02 ± 0,48E-02	2,16E-02 ± 0,28E-02	S.O.	S.O.	
		290*	102	1020 ± 50	099	3,29E-02 ± 0,42E-02	2,29E-02 ± 0,41E-02	≤ 1,8E-05	≤ 3,2E-05	
		207	107	≤ 1,3		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
Whale 30	19/03/2019	280	108	≤ 1,3		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		290	109	≤ 1,3		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		330	110	≤ 1,3		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
Fangataufa	Fuseau 30	08/04/2019	193*	115	1030 ± 50	111	2,51E-01 ± 0,31E-01	9,1E-02 ± 2,1E-02	≤ 1,9E-05	≤ 2,4E-05
			215	116	725 ± 38	112	2,05E-01 ± 0,25E-01	6,33E-02 ± 0,83E-02	S.O.	S.O.
			255	117	304 ± 16	113	6,79E-02 ± 0,88E-02	2,26E-02 ± 0,27E-02	S.O.	S.O.
			268	118	288 ± 15	114	7,61E-02 ± 0,99E-02	2,41E-02 ± 0,30E-02	S.O.	S.O.
Mitre 27	09/04/2019	233-235	122	1,1 ± 0,6		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		237-239	121	≤ 1,3		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
Natrice 19 dolomies	09/04/2019	200	127	266 ± 15	123	2,66E-02 ± 0,34E-02	≤ 1,6E-03	S.O.	S.O.	
		235	128	170 ± 10	124	1,99E-02 ± 0,26E-02	≤ 1,5E-03	S.O.	S.O.	
Natrice 19 volcanisme		320	129	1,0 ± 0,6		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
		340	130	1,38 ± 0,61		S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	
Porcelaine 23	10/04/2019	203	134	123 ± 7	131	7,9E-03 ± 1,1E-03	2,60E-03 ± 0,63E-03	S.O.	S.O.	
		257	135	11,4 ± 1,9	132	1,67E-03 ± 0,37E-03	≤ 2,3E-03	S.O.	S.O.	
		270	136	5,6 ± 1,6	133	1,30E-03 ± 0,32E-03	≤ 5,0E-03	S.O.	S.O.	

Tableau 79. Résultats des prélèvements de sable, de sols et de sédiments. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹. S.O. : sans objet.

Prélèvements	Lieu	Date	Réf.	⁴⁰ K	²³⁸ U (²³⁴ Th)	²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb)	²¹⁰ Pb	²³⁵ U	²³² Th (²⁰⁸ Ac)
Sable de plage Sol Moruroa	Anémone	21/03/2019	330	3,53 ± 0,85	2,35E+01 ± 0,27E+01	≤ 5,7E-01	8,1 ± 1,9	1,38 ± 0,14	≤ 4,6E-01
	Jeanne	21/03/2019	409	1,41E+01 ± 0,15E+01	2,00E+01 ± 0,14E+01	2,15 ± 0,30	1,09E+01 ± 0,24E+01	8,9E-01 ± 1,5E-01	≤ 4,8E-01
	Martine CASA	21/03/2019	412	9,35 ± 0,95	2,01E+01 ± 0,25E+01	2,53 ± 0,24	5,57 ± 0,64	1,03 ± 0,13	9,7E-01 ± 1,5E-01
Sol Fangataufa	Kilo coco	08/04/2019	319	4,7 ± 1,5	1,74E+01 ± 0,18E+01	1,10 ± 0,15	1,67E+01 ± 0,17E+01	0,850 ± 0,091	≤ 4,8E-01
	Frégate	08/04/2019	345	5,1 ± 1,5	2,37E+01 ± 0,26E+01	3,9E-01 ± 1,5E-01	5,64E+01 ± 0,58E+01	1,17 ± 0,15	≤ 7,0E-01
	Aprion 06	26/03/2019	199	7,0 ± 1,2	2,18E+01 ± 0,19E+01	5,9E-01 ± 2,0E-01	1,29E+01 ± 0,36E+01	1,24 ± 0,14	≤ 5,5E-01
Sédiment Moruroa	Gorgone 05	26/03/2019	203	7,10 ± 0,98	2,01E+01 ± 0,25E+01	4,6E-01 ± 1,6E-01	1,44E+01 ± 0,24E+01	1,15 ± 0,10	≤ 3,8E-01
	Orque 41	04/04/2019	395	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
	Labre 40	27/03/2019	397	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
	Murène 40	27/03/2019	215	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Sédiment Fangataufa	Pleuvre 43	04/04/2019	400	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
	Limnée 21	08/04/2019	407	1,40E+01 ± 0,16E+01	3,13E+01 ± 0,23E+01	3,53 ± 0,32	2,64E+01 ± 0,22E+01	1,46 ± 0,31	≤ 4,6E-01
	Troque 13	08/04/2019	243	5,9 ± 1,4	3,32E+01 ± 0,31E+01	1,40 ± 0,14	3,3 ± 1,2	1,85 ± 0,17	≤ 3,1E-01
	Mitre 09	08/04/2019	251	9,1 ± 1,3	3,26E+01 ± 0,26E+01	1,08E+01 ± 0,49E+01	9,0 ± 1,1	1,17 ± 0,34	≤ 2,5E-01
	Mitre 26	08/04/2019	239	1,19E+01 ± 0,29E+01	3,78E+01 ± 0,35E+01	2,36E+01 ± 0,15E+01	4,55E+01 ± 0,50E+01	2,56 ± 0,51	≤ 4,3E-01

Prélèvements	Lieu	Date	Réf.	⁶⁰ Co	¹²⁵ Sb	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹⁵² Eu	²⁴¹ Am	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
Sable de plage Sol Moruroa	Anémone	21/03/2019	330	≤ 1,8E-01	≤ 4,7E-01	≤ 1,2E-01	S.O.	≤ 3,7E-01	4,89E-01 ± 0,88E-01	2,63 ± 0,21	1,652E+01 ± 0,076E+01
	Jeanne	21/03/2019	409	≤ 1,6E-01	≤ 4,3E-01	1,7E-01 ± 1,1E-01	S.O.	≤ 1,6E-01	3,15E+01 ± 0,22E+01	6,8 ± 2,4	1,541E+03 ± 0,069E+03
	Martine Casa	21/03/2019	412	≤ 1,2E-01	≤ 3,6E-01	≤ 8,2E-02	S.O.	≤ 1,5E-01	≤ 8,8E-02	4,5E-02 ± 2,9E-02	1,37 ± 0,11
Sol Fangataufa	Kilo coco	08/04/2019	319	3,91 ± 0,39	≤ 6,4E-01	1,07E+02 ± 0,068E+02	4,04E+02 ± 0,52E+02	2,84 ± 0,63	8,84E+01 ± 0,58E+01	4,89E+02 ± 0,37E+02	1,519E+03 ± 0,087E+03
	Frégate	08/04/2019	345	≤ 2,3E-01	≤ 6,5E-01	≤ 1,6E-01	S.O.	≤ 7,4E-01	3,7E-01 ± 1,9E-01	S.O.	S.O.
	Aprion 06	26/03/2019	199	≤ 2,0E-01	≤ 5,2E-01	≤ 1,3E-01	S.O.	≤ 3,8E-01	9,09E-01 ± 0,93E-01	S.O.	S.O.
	Gorgone 05	26/03/2019	203	≤ 1,5E-01	≤ 4,2E-01	≤ 1,1E-01	S.O.	≤ 3,8E-01	2,57E-01 ± 0,47E-01	S.O.	S.O.
Sédiment Moruroa	Orque 41	04/04/2019	395	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	8,62E+01 ± 0,55E+01	7,31E+02 ± 0,29E+02
	Labre 40	27/03/2019	397	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	2,39E+01 ± 0,64E+01	5,05E+02 ± 0,16E+02
	Murène 40	27/03/2019	215	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	2,58E+01 ± 0,66E+01	3,64E+02 ± 0,14E+02
	Pleuvre 43	04/04/2019	400	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	3,66E+01 ± 0,62E+01	2,049E+02 ± 0,075E+02
Sédiment Fangataufa	Limnée 21	08/04/2019	407	≤ 1,9E-01	≤ 4,8E-01	3,69E-01 ± 0,52E-01	S.O.	5,6E-01 ± 2,6E-01	1,76E+01 ± 0,12E+01	S.O.	S.O.
	Troque 13	08/04/2019	243	≤ 1,2E-01	≤ 3,3E-01	≤ 8,1E-02	S.O.	≤ 1,4E-01	7,09 ± 0,48	S.O.	S.O.
	Mitre 09	08/04/2019	251	≤ 1,0E-01	≤ 2,9E-01	8,5E-02 ± 2,3E-02	S.O.	≤ 1,4E-01	5,88 ± 0,47	S.O.	S.O.
	Mitre 26	08/04/2019	239	1,10E-01 ± 0,49E-01	≤ 5,3E-01	3,5E-01 ± 1,0E-01	S.O.	4,1E-01 ± 2,6E-01	1,275E+01 ± 0,092E+01	S.O.	S.O.

8.3 Liste des figures

Figure 1. Carte de l'atoll de Moruroa.....	10
Figure 2. Carte de l'atoll de Fangataufa.....	10
Figure 3. Carte de la limite de zone océanique des 12 milles marins (ou nautiques) autour de Moruroa et Fangataufa.....	11
Figure 4. Emplacement des points de surveillance à terre de l'environnement sur l'atoll de Moruroa.	16
Figure 5. Exemple de boîte contenant le dosimètre à Martine.	17
Figure 6. Appareils de prélèvement des aérosols en zone Martine : CASA 110.....	18
Figure 7. Localisation des anciens et nouveaux CASA 110 en zone Martine.	18
Figure 8. Suivi mensuel de l'activité volumique atmosphérique des radionucléides d'origine naturelle (^7Be , ^{22}Na , ^{40}K et ^{210}Pb) en zone Martine à Moruroa depuis 1997.....	21
Figure 9. Suivi mensuel de l'activité volumique atmosphérique d'origine artificielle en ^{239}Pu + ^{240}Pu en zone Martine à Moruroa depuis 1997.	22
Figure 10. Prélèvements du sable de plage à Moruroa.	24
Figure 11. Suivi de l'activité massique d'origine naturelle du sable de plage prélevé à Moruroa depuis 2005. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	25
Figure 12. Suivi de l'activité massique d'origine artificielle du sable de plage prélevé à Moruroa depuis 2005. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	26
Figure 13. Emplacements des points de surveillance du milieu terrestre à Moruroa.	27
Figure 14. Emplacements des points de surveillance du milieu terrestre à Fangataufa.	27
Figure 15. Prélèvement de sol à Moruroa (Jeanne).	28
Figure 16. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sols de Moruroa en 2019.	29
Figure 17. Suivi de l'activité massique d'origine naturelle dans les sols de Moruroa depuis 2011.....	30
Figure 18. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle des sols de Moruroa en 2019.	31
Figure 19. Suivi de l'activité massique d'origine artificielle dans les sols de Moruroa depuis 2006.	32
Figure 20. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle des sols de Fangataufa en 2019.	33
Figure 21. Suivi de l'activité massique d'origine naturelle dans les sols de Fangataufa depuis 2011.....	34
Figure 22. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle des sols de Fangataufa en 2019.	35
Figure 23. Suivi de l'activité massique d'origine artificielle dans les sols de Fangataufa depuis 2011.....	36
Figure 24. Prélèvement de l'eau de coco et du coprah.	37
Figure 25. Activité massique du coprah en 2019.	39
Figure 26. Suivi de l'activité massique du ^{40}K du coprah à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.	40
Figure 27. Suivi de l'activité massique du ^{90}Sr du coprah à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.	41
Figure 28. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs du coprah à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.	41
Figure 29. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu du coprah à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.	42
Figure 30. Suivi de l'activité massique du ^{239}Pu + ^{240}Pu du coprah sur les atolls de Moruroa et Fangataufa depuis 1997.	42
Figure 31. Activité massique de l'eau de coco en 2019.	43
Figure 32. Suivi de l'activité massique du ^{40}K de l'eau de coco à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. .	44
Figure 33. Suivi de l'activité massique du ^{90}Sr de l'eau de coco à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.	45
Figure 34. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs de l'eau de coco sur les atolls de Moruroa et Fangataufa depuis 1997.	46
Figure 35. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu de l'eau de coco sur les atolls de Moruroa et Fangataufa depuis 1997.	47
Figure 36. Suivi de l'activité massique du ^{239}Pu + ^{240}Pu de l'eau de coco à Moruroa et Fangataufa depuis 1997.....	47
Figure 37. Emplacements des points de surveillance du lagon à Moruroa.	48
Figure 38. Emplacements des points de surveillance du lagon à Fangataufa.	48
Figure 39. Prélèvement d'eau de lagon (flacon de 50 mL).	49
Figure 40. Activité volumique des eaux du lagon de Moruroa en 2019.....	51

Figure 41. Suivi de l'activité volumique en HTO des eaux de lagon à Moruroa depuis 1997.	52
Figure 42. Suivi des activités volumiques en ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$ des eaux de lagon à Moruroa depuis 1997.....	52
Figure 43. Activité volumique des eaux du lagon de Fangataufa en 2019.	53
Figure 44. Suivi de l'activité volumique en HTO des eaux de lagon à Fangataufa depuis 1997.	54
Figure 45. Suivi des activités volumiques en ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$ des eaux de lagon à Fangataufa depuis 1997.....	54
Figure 46. Prélèvement de sédiment dans le godet de la benne Shipeck.	56
Figure 47. Emplacement des points de prélèvements de sédiments dans le voisinage du motu Colette.	57
Figure 48. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sédiments de lagon de Moruroa en 2019.	58
Figure 49. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine naturelle des sédiments de lagon à Moruroa depuis 1997.....	59
Figure 50. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments de lagon de Moruroa en 2019.	60
Figure 51. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine artificielle des sédiments de lagon à Moruroa depuis 1997.....	61
Figure 52. Activité massique des isotopes du plutonium dans les sédiments au Sud et à l'Est du banc Colette du lagon de Moruroa en 2019.	62
Figure 53. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu et du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des sédiments de lagon au Sud et à l'Est du banc Colette à Moruroa depuis 1997.....	62
Figure 54. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sédiments de lagon de Fangataufa en 2019.	63
Figure 55. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine naturelle des sédiments de lagon à Fangataufa depuis 1997.....	64
Figure 56. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments de lagon de Fangataufa en 2019.	65
Figure 57. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine artificielle des sédiments de lagon à Fangataufa depuis 1997.....	66
Figure 58. Plancton de lagon à l'égouttage.	67
Figure 59. Activité massique du plancton des lagons de Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	69
Figure 60. Suivi de l'activité massique du ^{40}K dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	70
Figure 61. Suivi de l'activité massique du ^{60}Co dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	70
Figure 62. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	71
Figure 63. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	71
Figure 64. Suivi de l'activité massique du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ dans les planctons de lagon à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	72
Figure 65. Chair de troca.	73
Figure 66. Activité massique de la chair de troca à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	74
Figure 67. Suivi de l'activité massique du ^{40}K dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	75
Figure 68. Suivi de l'activité massique du ^{60}Co dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	76
Figure 69. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	76
Figure 70. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	77
Figure 71. Suivi de l'activité massique du $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ dans la chair de troca à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	77

Figure 72. Prélèvement de poisson chirurgien noir.....	78
Figure 73. Activité massique des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	79
Figure 74. Suivi de l'activité massique du ⁴⁰ K des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	80
Figure 75. Suivi de l'activité massique du ⁶⁰ Co des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	81
Figure 76. Suivi de l'activité massique du ¹³⁷ Cs des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	81
Figure 77. Suivi de l'activité massique du ²³⁸ Pu des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	82
Figure 78. Suivi de l'activité massique du ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu des poissons chirurgiens à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	82
Figure 79. Prélèvement d'un méro, pêché au fusil harpon.....	83
Figure 80. Activité massique de la chair de méro à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	84
Figure 81. Suivi de l'activité massique du ⁴⁰ K de la chair de méro à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	85
Figure 82. Suivi de l'activité massique du ⁶⁰ Co de la chair de méro à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	86
Figure 83. Suivi de l'activité massique du ⁹⁰ Sr de la chair de méro à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	86
Figure 84. Suivi de l'activité massique du ¹³⁷ Cs de la chair de méro à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	87
Figure 85. Suivi de l'activité massique du ²³⁸ Pu de la chair de méro à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	87
Figure 86. Suivi de l'activité massique du ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu de la chair de méro à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	88
Figure 87. Emplacements des prélèvements du platier et des flancs d'atoll à Moruroa.....	89
Figure 88. Emplacement des prélèvements du platier et des flancs d'atoll à Fangataufa.....	89
Figure 89. Prélèvement d'eaux de flancs d'atoll par bouteille hydrologique.....	90
Figure 90. Chair de turbos soyeux.....	92
Figure 91. Activité massique de la chair de turbo soyeux à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	93
Figure 92. Suivi de l'activité massique du ⁴⁰ K de la chair des turbos soyeux à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	94
Figure 93. Suivi de l'activité massique du ¹³⁷ Cs de la chair des turbos soyeux à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	94
Figure 94. Suivi de l'activité massique du ²³⁸ Pu de la chair des turbos soyeux à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	95
Figure 95. Suivi de l'activité massique du ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu de la chair des turbos soyeux à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	95
Figure 96. Remontée des filets à plancton.....	97
Figure 97. Activité massique du plancton de flancs d'atoll autour de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	99
Figure 98. Suivi de l'activité massique du ⁴⁰ K des planctons des flancs d'atoll autour de Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	99
Figure 99. Suivi de l'activité massique du ⁶⁰ Co des planctons des flancs d'atoll autour de Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	100
Figure 100. Suivi de l'activité massique du ²³⁸ Pu des planctons des flancs d'atoll autour de Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	100
Figure 101. Suivi de l'activité massique du ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu des planctons des flancs d'atoll autour de Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en Bq.kg ⁻¹	101
Figure 102. Prélèvement de crevettes.....	102

Figure 103. Activité massique des crevettes de profondeur autour de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	103
Figure 104. Suivi de l'activité massique du ^{40}K des crevettes de profondeur à Moruroa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	104
Figure 105. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs des crevettes de profondeur à Moruroa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	105
Figure 106. Suivi de l'activité massique du ^{238}Pu des crevettes de profondeur à Moruroa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	105
Figure 107. Suivi de l'activité massique du $^{239}Pu + ^{240}Pu$ des crevettes de profondeur à Moruroa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	106
Figure 108. Prélèvement d'un thon à dents de chien.	107
Figure 109. Activité massique dans la chair de gymnosarde pêchée à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	108
Figure 110. Suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	109
Figure 111. Suivi de l'activité massique du ^{60}Co de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	110
Figure 112. Suivi de l'activité massique du ^{90}Sr de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	110
Figure 113. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	111
Figure 114. Suivi de l'activité massique du $^{239}Pu + ^{240}Pu$ de la chair de poissons pélagiques côtiers à Moruroa et Fangataufa depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	111
Figure 115. Emplacement du prélèvement des eaux océaniques dans la limite des 12 milles marins...	112
Figure 116. Emplacement du prélèvement de poisson pélagique hauturier à Moruroa.....	112
Figure 117. Suivi de l'activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les eaux océaniques depuis 1999. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	114
Figure 118. Profils de l'activité volumique du ^{90}Sr des eaux océaniques depuis 2002.....	115
Figure 119. Profils de l'activité volumique du ^{137}Cs des eaux océaniques depuis 2002.....	115
Figure 120. Profils de l'activité volumique du $^{239}Pu + ^{240}Pu$ des eaux océaniques depuis 2005.....	116
Figure 121. Activité massique du plancton océanique pour l'année 2017. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	118
Figure 122. Suivi de l'activité massique en ^{40}K du plancton océanique depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	118
Figure 123. Suivi de l'activité massique en ^{238}Pu du plancton océanique depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	119
Figure 124. Suivi de l'activité massique en $^{239}Pu + ^{240}Pu$ du plancton océanique depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	120
Figure 125. Prélèvement de thon à nageoires jaunes.	121
Figure 126. Activité massique de la chair de poisson pélagique hauturier prélevée en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	122
Figure 127. Suivi de l'activité massique du ^{40}K de la chair de poissons pélagiques hauturiers depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	123
Figure 128. Suivi de l'activité massique du ^{60}Co de la chair de poissons pélagiques hauturiers depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	124
Figure 129. Suivi de l'activité massique du ^{137}Cs de la chair de poissons pélagiques hauturiers depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	124
Figure 130. Suivi de l'activité massique du $^{239}Pu + ^{240}Pu$ de la chair de poissons pélagiques hauturiers depuis 1997. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	125
Figure 131. Points de prélèvement des eaux souterraines à Moruroa.	127
Figure 132. Points de prélèvement des eaux souterraines à Fangataufa.....	127
Figure 133. Principe de prélèvement, dans le lagon, des eaux souterraines par polytubes.	128
Figure 134. Banc de pompage et raccordement du polytube au banc de pompage de la vedette de prélèvement KAIMI en 2019.	128

Figure 135. Gradient horizontal de l'activité volumique du tritium dans les eaux souterraines à Moruroa, pour la période 1994-1996.....	130
Figure 136. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire DRAGON 09.....	131
Figure 137. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire FLET 08.....	132
Figure 138. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire GEO 5B.....	133
Figure 139. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire GEO 8B.....	134
Figure 140. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire GEO10B.....	135
Figure 141. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire ISURUS 10.....	136
Figure 142. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire KRILL 23.....	137
Figure 143. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 220 m depuis 1997 de l'observatoire KRILL 23.....	138
Figure 144. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire LABRE 13.....	139
Figure 145. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire MURENE 16.....	140
Figure 146. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 230 m depuis 1997 de l'observatoire MURENE 16.....	141
Figure 147. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire MURENE 27.....	142
Figure 148. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire ORQUE 13.....	143
Figure 149. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire PIEUVRE 23.....	144
Figure 150. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire PIEUVRE 37.....	145
Figure 151. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 300 m depuis 1997 de l'observatoire PIEUVRE 37.....	146
Figure 152. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire PIEUVRE 39.....	147
Figure 153. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire SCALAIRE 22.....	148
Figure 154. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire TAZARD 14.....	149
Figure 155. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 290 m depuis 1997 de l'observatoire TAZARD 14.....	150
Figure 156. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire WHALE 30.....	151
Figure 157. Gradient horizontal de l'activité volumique du tritium dans les eaux souterraines à Moruroa, pour la période 1994-1996 et concentrations maximales de radionucléides mesurées dans les eaux souterraines en 2019.....	152
Figure 158. Gradient horizontal de l'activité volumique du tritium dans les eaux souterraines à Fangataufa, pour la période 1994-1996.....	153
Figure 159. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire FUSEAU 30 depuis 1997.....	154
Figure 160. Suivi de l'activité volumique du plutonium à la cote de 193 m depuis 1997 de l'observatoire FUSEAU 30.....	155
Figure 161. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire MITRE 27.....	156
Figure 162. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire NATICE 19.....	157
Figure 163. Suivi de l'activité volumique de l'observatoire PORCELAINE 23.....	158
Figure 164. Gradient horizontal de l'activité volumique du tritium dans les eaux souterraines à Fangataufa, pour la période 1994-1996 et concentrations maximales de radionucléides mesurées dans les eaux souterraines en 2019.....	159

8.4 Liste des tableaux

Tableau 1. Prélèvements et échantillons associés	9
Tableau 2. Liste des radionucléides mentionnés, leur symbole et leur période radioactive propre.	12
Tableau 3. Radionucléides recherchés dans les prélèvements.....	13
Tableau 4. Unités utilisées dans le document.	14
Tableau 5. Activité volumique atmosphérique d'origine naturelle en zone Martine pour l'année 2019. Les résultats sont exprimés en $\mu\text{Bq.m}^{-3}$	20
Tableau 6. Activité volumique atmosphérique d'origine artificielle en zone Martine en 2019. Les résultats sont exprimés en $\mu\text{Bq.m}^{-3}$	21
Tableau 7. Caractéristiques des prélèvements d'eau du robinet à Moruroa.....	23
Tableau 8. Résultats des mesures des radionucléides artificiels sur l'analyse de l'eau du robinet à Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L^{-1}	23
Tableau 9. Caractéristiques des prélèvements de sable de plage à Moruroa.....	24
Tableau 10. Activité massique en radionucléides d'origine naturelle dans le sable de plage de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	25
Tableau 11. Activité massique en radionucléides d'origine artificielle dans le sable de plage de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	26
Tableau 12. Caractéristiques des prélèvements de sols à Moruroa et Fangataufa.....	28
Tableau 13. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sols de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	29
Tableau 14. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sols de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	31
Tableau 15. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sols de Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	33
Tableau 16. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sols de Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	35
Tableau 17. Caractéristiques des prélèvements d'eau de coco et de coprah à Moruroa et Fangataufa.	38
Tableau 18. Activité massique des radionucléides dans le coprah prélevé à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	39
Tableau 19. Activité massique des radionucléides de l'eau de coco prélevée à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	43
Tableau 20. Caractéristiques des prélèvements des eaux de lagon.	50
Tableau 21. Activité volumique des radionucléides d'origine artificielle des eaux du lagon de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L^{-1}	51
Tableau 22. Activité volumique des radionucléides d'origine artificielle des eaux du lagon de Fangataufa. Les résultats sont exprimés en Bq.L^{-1}	53
Tableau 23. Caractéristiques des prélèvements de sédiments dans les lagons de Moruroa et Fangataufa.....	57
Tableau 24. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sédiments de lagon de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	58
Tableau 25. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments de lagon de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	60
Tableau 26. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments au Sud et à l'Est du banc Colette du lagon de Moruroa. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	61
Tableau 27. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle dans les sédiments de lagon de Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	63
Tableau 28. Activité massique des radionucléides d'origine artificielle dans les sédiments de lagon de Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	65
Tableau 29. Caractéristiques des prélèvements de plancton de lagon.	68
Tableau 30. Activité massique des radionucléides dans le plancton de lagon prélevé à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.kg^{-1}	68
Tableau 31. Caractéristiques des prélèvements de troca à Moruroa et Fangataufa en 2019.	73

Tableau 32. Activité massique des radionucléides dans le troca de lagon prélevé à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	74
Tableau 33. Caractéristiques des prélèvements de poisson chirurgical sur les atolls de Moruroa et Fangataufa en 2019.....	78
Tableau 34. Activité massique des radionucléides dans le poisson chirurgical prélevé à Moruroa et Fangataufa. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	79
Tableau 35. Caractéristiques des prélèvements de mérou à Moruroa et Fangataufa en 2019.....	83
Tableau 36. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle et artificielle dans la chair de mérou prélevée à Moruroa et Fangataufa en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	84
Tableau 37. Caractéristiques des prélèvements d'eaux de flancs d'atoll en 2019.....	90
Tableau 38. Activité volumique des prélèvements d'eaux des flancs de l'atoll en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	91
Tableau 39. Caractéristiques des prélèvements de turbo soyeux en 2019.....	92
Tableau 40. Activité massique de la chair de turbo soyeux en 2019 à Moruroa et Fangataufa. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	93
Tableau 41. Caractéristiques des prélèvements de planctons des flancs d'atoll.....	97
Tableau 42. Activité massique des radionucléides dans le plancton des flancs d'atoll prélevé autour de Moruroa en 2019 et de Fangataufa en 2017. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	98
Tableau 43. Caractéristiques des prélèvements de crevettes de profondeur.....	102
Tableau 44. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle et artificielle dans les crevettes de profondeur pêchées autour de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	103
Tableau 45. Caractéristiques des prélèvements de gymnosarde (thon à dents de chien).....	107
Tableau 46. Activité massique des radionucléides d'origine naturelle et artificielle dans la chair de gymnosarde pêchée à Moruroa et Fangataufa. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	108
Tableau 47. Caractéristiques du prélèvement d'eaux océaniques en 2017 (en caractères bleus) et en 2019.....	113
Tableau 48. Activités massiques des prélèvements d'eaux océaniques à 12 milles marins en 2017 (en caractères bleus) et 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	114
Tableau 49. Caractéristiques du prélèvement de plancton océanique en 2017.....	117
Tableau 50. Activité massique des radionucléides dans le plancton océanique en 2017. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	117
Tableau 51. Caractéristiques du prélèvement de poisson pélagique hauturier en 2019.....	121
Tableau 52. Activité massique des radionucléides dans la chair de poisson pélagique hauturier, pêché autour de Moruroa en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.kg^{-1}$	122
Tableau 53. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire DRAGON 09 en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	131
Tableau 54. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire FLET 08 en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	132
Tableau 55. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire GEO 5B en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	133
Tableau 56. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire GEO 8B en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	134
Tableau 57. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire GEO 10B en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	135
Tableau 58. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire ISURUS 10 en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	136
Tableau 59. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire KRILL 23 en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	137
Tableau 60. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire LABRE 13 en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	139
Tableau 61. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire MURENE 16 en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	140
Tableau 62. Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire MURENE 27 en 2019. Les résultats sont exprimés en $Bq.L^{-1}$	142

Tableau 63. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire ORQUE 13 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	143
Tableau 64. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire PIEUVRE 23 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	144
Tableau 65. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire PIEUVRE 37 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	145
Tableau 66. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire PIEUVRE 39 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	147
Tableau 67. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire SCALAIRE 22 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	148
Tableau 68. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire TAZARD 14 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	149
Tableau 69. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire WHALE 30 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	151
Tableau 70. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire FUSEAU 30 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	154
Tableau 71. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire MITRE 27 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	156
Tableau 72. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire NATICE 19 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	157
Tableau 73. <i>Activité volumique des eaux souterraines de l'observatoire PORCELAINE 23 en 2019. Les résultats sont exprimés en Bq.L⁻¹.</i>	158
Tableau 74. <i>Résultats des prélèvements biologiques. Les valeurs sont exprimées en Bq.kg⁻¹ frais. S.O. : sans objet. Les valeurs de 2017 sont reportées en bleu.</i>	160
Tableau 75. <i>Résultats des prélèvements atmosphériques. Les valeurs sont exprimées en Bq.</i>	161
Tableau 76. <i>Résultats des prélèvements d'eaux. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹. S.O. : sans objet. Les valeurs de 2017 sont reportées en bleu.</i>	162
Tableau 77. <i>Résultats des prélèvements des eaux souterraines des puits lagon et terrestre. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹. S.O. : sans objet.</i>	163
Tableau 78. <i>Résultats des prélèvements des eaux souterraines des puits lagon et terrestre. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹. S.O. : sans objet (suite).</i>	164
Tableau 79. <i>Résultats des prélèvements de sable, de sols et de sédiments. Les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹. S.O. : sans objet.</i>	165

