MINISTERE DE LA DEFENSE
DELEGATION GENERALE
POUR L'ARMEMENT

DIRECTION DES SYSTEMES D'ARMES
UNITE DE MANAGEMENT NUCLEAIRE
BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE

DEPARTEMENT DE SUIVI
DES CENTRES D'EXPERIMENTATIONS NUCLEAIRES

SURVEILLANCE DES ATOLLS DE MURUROA ET DE FANGATAUFA

Tome I

SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE

Année 2007

N° 362/DGA/DSA/UM NBC/SCEN du 20 mai 2009

SOMMAIRE

PREAMBULE..... 3

Chapitre I - LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU PERSONNEL..... 21

I.1. – L'IRRADIATION AMBIANTE..... 21
I.1.1. – LA METHODE UTILISEE..... 21
I.1.2. – LES RESULTATS..... 22
I.2. – LA SURVEILLANCE ATMOSPHERIQUE..... 23
I.2.1. – LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE..... 23
I.2.2. – LES RESULTATS..... 24
I.3. – L'EAU DU ROBINET EN ZONE VIE A MARTINE..... 33
I.4. – LE SABLE DE PLAGE DE LA ZONE VIE..... 33
I.4.1. – LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE..... 34
I.4.2. – LES RESULTATS..... 34

Chapitre II - LA SURVEILLANCE DU MILIEU TERRESTRE..... 37

II.1. – LES SOLS..... 37
II.2. – LA NOIX DE COCO..... 37
II.2.1. – L'EAU DE COCO..... 37
II.2.2. – LE COPRAH OU PULPE DE NOIX DE COCO..... 40

Chapitre III - LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES..... 45

III.1. – LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE..... 45
III.2. – LES RESULTATS..... 49
III.2.1. – L'ATOLL DE MURUROA..... 49
III.2.1. – L'ATOLL DE FANGATAUFA..... 59

Chapitre IV - LA SURVEILLANCE DU LAGON..... 63

IV.1. – LES EAUX DE LAGON..... 63
IV.2. – LES SEDIMENTS..... 71
IV.3. – LE PLANCTON..... 72
IV.4. – LE TROCA..... 81
IV.5. – LE POISSON CHIRURGIEN..... 90
IV.6. – LE MEROU..... 99

Chapitre V - LA SURVEILLANCE DU PLATIER EXTERNE ET DES FLANCS D'ATOLL..... 103

V.1. – LE TURBO SOYEUX..... 103
V.2. – LES EAUX DES FLANCS D'ATOLL..... 108
V.3. – LE PLANCTON OCEANIQUE DES FLANCS D'ATOLL..... 112
V.4. – LES CREVETTES DE PROFONDEUR..... 119
V.5. – LES POISSONS PELAGIQUES COTIERS..... 122

Chapitre VI - LA SURVEILLANCE DU MILIEU OCEANIQUE……. 127
VI.1. – LES EAUX OCEANIQUES……... 127
VI.2. – LE PLANCTON OCEANIQUE…… 127
VI.3. – LES POISSONS PELAGIQUES HAUTURIERS…….. 127

Chapitre VII - LES PRELEVEMENTS EXCEPTIONNELS…….. 131
VII.1. – MESURE DU TRITIUM DANS L'EAU DE COCO……... 131
VII.2. – ZONE KILO A FANGATAUFA…… 131
VII.3. – PRELEVEMENTS EN ZONE HOTEL À HAO…….. 134
VII.4. – PRELEVEMENTS AEROSOLS EN ZONE AEROPORTUAIRE…….. 139

CONCLUSION……..145

ANNEXES

Annexe A : La surveillance des sols……..... 147

Annexe B : La surveillance des eaux des lagons (Sr et Pu) …….…… 173

Annexe C : La surveillance des sédiments …….. 183

Annexe D : La surveillance des eaux océaniques…… 213

Annexe E : La surveillance du plancton océanique…….. 219

PREAMBULE

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'Energie 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, 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, le Département de Suivi des Centres d'Expérimentations Nucléaires (DSCEN), rattaché à la Délégation Générale pour l'Armement (DGA). Il succède au SMSRB, dissous en 1998, en même temps que la Direction des Centres d'Expérimentations Nucléaires (DIRCEN).

Pour réaliser sa mission de suivi des sites, le département SCEN fait appel :

- aux moyens techniques de la Direction des Applications Militaires du CEA et en particulier au Département Analyses et Surveillance de l'Environnement (CEA/DAM/DASE) :
    - préparation technique et participation du laboratoire Hydrogéochimie et Etudes des Sites (SRCE/HES),
    - traitement et mesure des échantillons prélevés, dans les laboratoires du Service Radioanalyse, Chimie et Environnement (SRCE) de Bruyères-le-Châtel et de Modane.
- aux moyens logistiques des forces Armées en Polynésie, en particulier, dans les domaines naval et aérien (mise à disposition d'un navire de soutien, transports aériens interinsulaires...).

Les modalités du suivi radiologique et géomécanique des sites du CEP ont été établies en commun par le Commissariat à l'Energie Atomique et par le ministère de la Défense ; ces protocoles ont été formalisés dans deux documents :

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

dont les contenus ont été approuvés en juin 2002 par le Groupe de Sécurité des Sites (G2S), présidé par monsieur le Haut Commissaire à l'Energie Atomique (autorité de sûreté désignée à l'époque pour ces sites). La pertinence des mesures proposées a été confirmée par le rapport d'étude réalisé par les experts de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique.

La version 2003 de ces guides de surveillance prend en compte les évolutions techniques des mesures.

Nota : Les guides, version 1997, ont été publiés par la Documentation Française.

Les résultats de cette surveillance sont consignés dans un rapport scientifique présenté devant l'autorité de sûreté : le délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et les installations intéressant la Défense (DSND), autorité de sûreté pour les sites du Centre d'Expérimentations du Pacifique (CEP).

Le présent document est diffusé aux autorités nationales et aux autorités de la Polynésie française. Il est accessible sur le site Internet du ministère de la Défense.

2. - SITUATION DE REFERENCE

La situation de référence est constituée par l'étude de grande ampleur menée par les experts de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) (22 pays représentés) en 1996 et 1997 qui constataient que la situation radiologique actuelle des atolls de Mururoa et de Fangataufa était caractérisée 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», provenant des essais aériens de sécurité,
- Des traces de césium 137 et de plutonium 239 en zone KILO, à Fangataufa, provenant d'un tir sur barge.

En ce qui concerne le plutonium des fonds du lagon, la quantité est estimée à quelques kilogrammes. Toutefois, sa faible mobilité n'entraîne pas d'impact radiologique significatif sur la biosphère.

Au vue de la situation radiologique actuelle, l'AIEA concluait ainsi son étude :

«• Une population hypothétique, qui vivrait à Mururoa de la pêche et des ressources agricoles, recevrait une dose inférieure à 0,01 mSv/an, soit 1/200 de l'exposition naturelle,
- Une situation identique pour l'atoll de Tureia : dose inférieure à 0,05 mSv/an (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 Mururoa ne peut entraîner qu'un risque négligeable,
- 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 inférieure à 0,3 mSv/an.»

Effectivement, la surveillance exercée met bien en évidence le fait que les radionucléides mesurés dans les échantillons sont présents à des niveaux très bas et le plus souvent inférieurs ou voisins de la limite de détection des appareils de mesure de la radioactivité.

Pour abaisser encore ces limites, de nombreux échantillons font l'objet de mesures dans le laboratoire souterrain de Modane (tunnel de Fréjus) permettant ainsi de s'affranchir du rayonnement cosmique naturel soit environ 0,28 mSv/an.

La radioactivité naturelle est très nettement prépondérante. Les faibles valeurs de la radioactivité artificielle encore mesurables sont en constante décroissance car il n'y a pas eu de nouvel apport significatif de radioactivité artificielle dans la biosphère depuis l'arrêt des essais nucléaires atmosphériques en 1974. Les espèces contrôlées ont été choisies en fonction de leur place dans la chaîne alimentaire naturelle et en fonction de leur pouvoir à concentrer des radionucléides.

Les faibles niveaux de radioactivité, difficiles à mesurer voire à détecter, conduisent à prélever des échantillons de masses importantes pour essayer d'obtenir un résultat de mesure significatif.

3. - LES PRINCIPES DE LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE

La surveillance radiologique se décompose en deux volets :

3.1. - UN SUIVI PERMANENT

Cette surveillance continue, tout au long de l'année, comprend :

- Une mesure des aérosols atmosphériques par aspiration d'air au travers d'un filtre. Les filtres, changés quotidiennement, sont adressés mensuellement en métropole pour analyses,
- Une mesure de la dose intégrée à l'aide de dosimètres du type $CaSO_4$, changés trimestriellement.

3.2. - UN SUIVI PAR UNE CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS

Cette campagne annuelle de prélèvements d'échantillons dans les milieux physiques et biologiques est organisée par le DSCEN avec les moyens logistiques apportés par les forces Armées en Polynésie. Les analyses sont effectuées dans les laboratoires métropolitains du CEA/DAM.

Le suivi radiologique concerne les trois écosystèmes de l'environnement des sites :

- Le milieu terrestre,
- Le lagon,
- L'océan (dans la limite des douze milles nautiques des eaux territoriales).

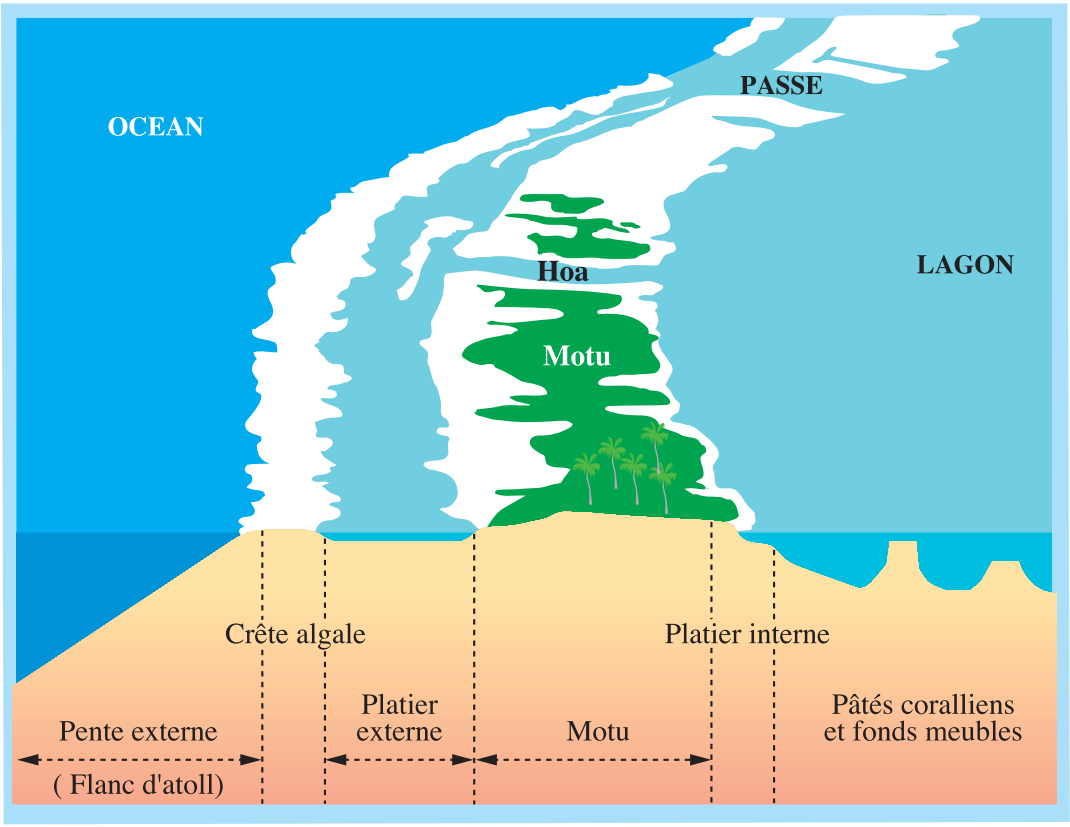


Figure 1 : Coupe schématique d'un atoll.

Les échantillons prélevés consistent en :

- des sols terrestres et des sédiments du lagon,
- des eaux du lagon et de l'océan (prélèvements étagés jusqu'à 1 000 mètres de profondeur),
- des eaux souterraines dans des puits instrumentés,
- du végétal terrestre : noix de coco (eau et coprah),
- des organismes vivants de la chaîne trophique marine (lagon et océan) : planctons, crustacés, mollusques, poissons herbivores et carnivores.

L'ensemble des échantillons représente une masse de près de 2 tonnes.

NATURE DE L'APPAREILLAGE OU DES ECHANTILLONS PRELEVES	POIDS/VOLUME UNITAIRE DES ECHANTILLONS	FREQUENCE DES PRELEVEMENTS	PRELEVEMENTS A MURUROA	PRELEVEMENTS A FANGATAUFA
MILIEU ATMOSPHERIQUE ET TERRESTRE				
DOSIMETRES $CaSO_4$		1/3 mois	6 points	
AEROSOLS (CASA 110)	1 filtre	1/jour	1 point	
SOLS	1 kg	1/4 ans	8 points	6 points
EAU DE COCO	10 l	1/an	4 zones	1 zone
COPRAH	4 kg	1/an	4 zones	1 zone
LAGON				
EAUX DE LAGON	2x30 l + 2x50 ml	1/an	9 points	5 points
SEDIMENTS	1 kg	1/an	9 points	5 points
PLANCTON	500 g	1/an	1	1
CHIRURGIEN éviscéré	3 kg	1/an	2 zones/4	1 zone
TROCA chair	2 kg	1/an	2 zones/4	1 zone
MEROU chair	3 kg	1/an	2 zones/4	1 zone
MILIEU OCEANIQUE PROCHE, PLATIER ET PENTE EXTERNE				
TURBO chair	2 kg	1/an	2 zones/4	1 zone
EAUX FLANCS D'ATOLL (3 Cotes)	2 x 50 ml	1/an	1 zone/4 (6points)	1 zone (4 points)
PLANCTON FLANCS D'ATOLL	500 g	1/an	1 zone/4	1
CREVETTES PROFONDES	3 kg	1/an	1	-
POISSONS PELAGIQUES COTIERS chair	3 kg	1/an	1	1
MILIEU OCEANIQUE DANS LA LIMITE DES 12 MILLES NAUTIQUES				
EAUX OCEANIQUES	2x30 l + 2x50 ml	1/4 ans	1 point (6 profondeurs)	
PLANCTON	500 g	1/4 ans	1	
POISSONS PELAGIQUES HAUTURIERS chair	3 kg	1/an	1	
EAUX SOUTERRAINES				
EAUX SOUTERRAINES	10 l + 2x50 ml	1/an	13 points lagon 3 points à terre	4 points lagon

4. - LES DIFFERENTES ZONES DE PRELEVEMENTS

A Mururoa, le lagon et le milieu terrestre ont été divisés en quatre zones. Par ailleurs, un carroyage a été construit sur la carte de Mururoa dès le début du Centre d'Expérimentation du Pacifique (figure 2). Fangataufa a reçu un carroyage semblable (figure 3) et son lagon constitue une zone à lui seul.

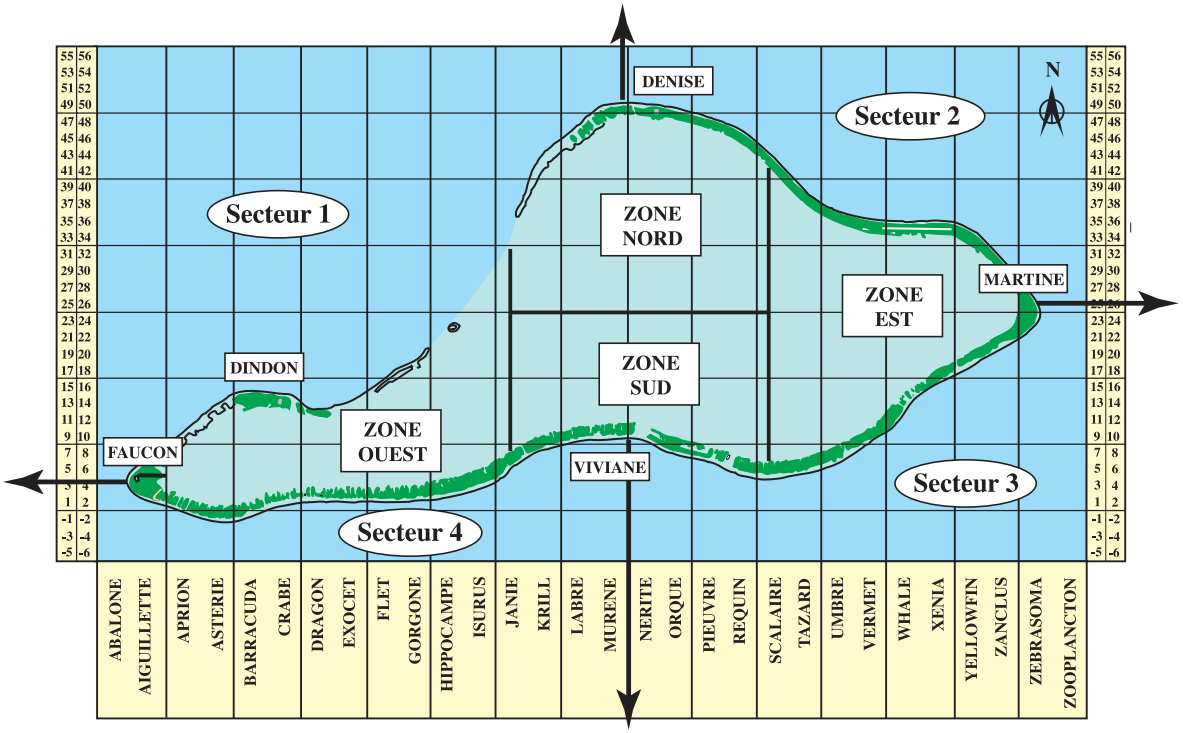


Figure 2 : Carte de l'atoll de Mururoa.

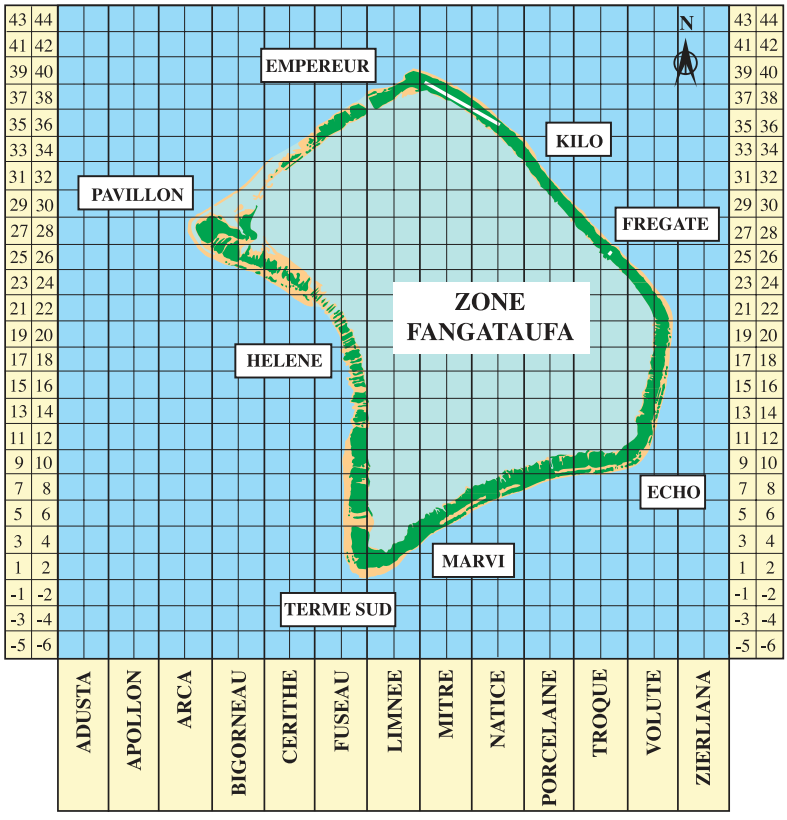


Figure 3 : Carte de l'atoll de Fangataufa.

La zone océanique des 12 nautiques au large de Mururoa a été divisée en quatre parties : secteur 1, secteur 2, secteur 3 et secteur 4.

La zone océanique des 12 nautiques de Fangataufa constitue une seule zone (figure 4).

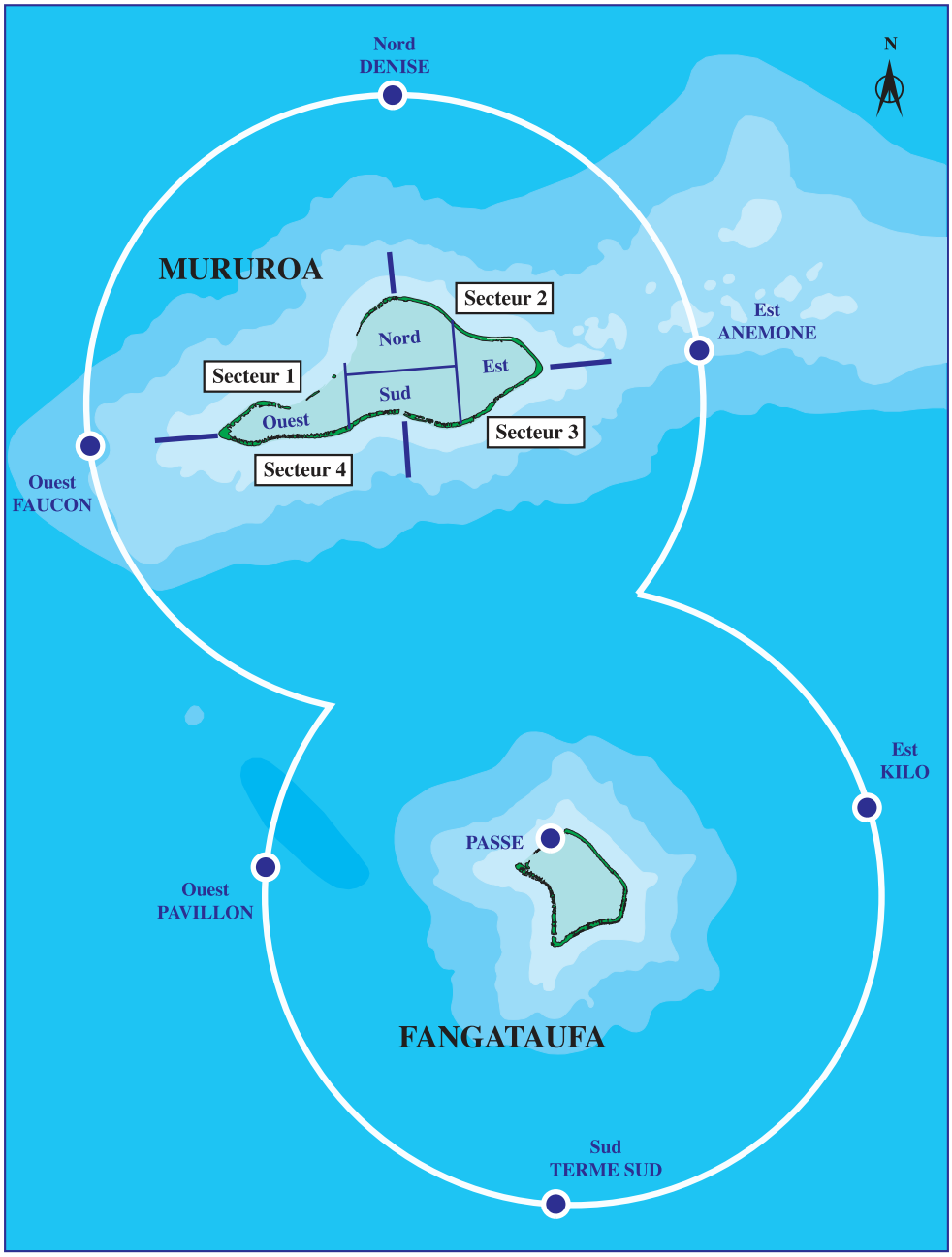


Figure 4 : Carte des zones océaniques des 12 nautiques autour de Mururoa et Fangataufa.

Les différents compartiments des atolls sont étudiés et dans chacun d'eux, des échantillons sont prélevés dans lesquels la radioactivité est mesurée.

5. – LES RADIOELEMENTS MESURES DANS LES ECHANTILLONS

Les principaux radioéléments d'origine naturelle et artificielle recherchés dans les échantillons sont indiqués dans le tableau 1.

Radionucléides	Aérosols	Eau de lagon	Sédiment de lagon	Sols	Eau souterraine	Eau flanc d'atoll	Eau océanique	Prélèvements biologiques
HTO (Eau tritiée)		●			●	●	●	
^{7}Be	●							
^{22}Na	●							
^{40}K	●		●	●				●
^{210}Pb	●		●	●				
^{226}Ra			●	●				
^{228}Th			●	●				
^{228}Ac			●	●				
^{234}Th			●	●				
^{235}U			●	●				
^{60}Co			●	●				●
^{90}Sr		●	●	●	●		●	●
^{125}Sb			●	●				
^{137}Cs	●	●	●	●	●		●	●
^{155}Eu			●	●				
^{238}Pu	●	●	●	●	● *		●	●
$^{239}Pu + ^{240}Pu$	●	●	●	●	● *		●	●
^{241}Am			●	●				

* : une mesure à une profondeur par zone

Tableau 1 : Radioéléments recherchés

6. – PRESENTATION DES RESULTATS

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 2 présente les unités utilisées dans le rapport en fonction du type d'échantillon.

AÉROSOLS	$Bq.m^{-3}$
EAUX	$Bq.m^{-3}$
SÉDIMENTS & SOLS	$Bq.kg^{-1}$ *
Prélèvements BIOLOGIQUES	$Bq.kg^{-1}$ **

* : masse de l'échantillon mesurée après séchage

** : masse de l'échantillon frais

Tableau 2 : Unités utilisées.

À partir de 2002, le laboratoire a donné les résultats des eaux en $Bq.kg^{-1}$.

Pour faire la conversion, la masse volumique de l'eau de mer a été arbitrairement prise, égale à 1 000 $kg.m^{-3}$.

7. – EXPRESSION DES RESULTATS

Tous les résultats sont exprimés avec leur incertitude de mesure évaluée à $\pm 2\sigma$.

Les incertitudes de mesure attachées à chaque valeur de radioactivité sont indiquées dans les tableaux de résultats et sur les graphiques (quand cela est possible).

Les graphiques peuvent présenter des résultats de mesure inférieurs aux *limites de détection* (LD).

Dans ce cas, soit :

- La valeur n'est pas présentée sur le graphique et la barre d'incertitude atteint l'axe des abscisses. La limite haute de cette barre donne la valeur de la *limite de détection*.
- La barre d'incertitude n'est pas présentée, alors les valeurs inférieures à la limite de détection sont positionnées dans les graphiques à LD/2.

Dans les tableaux, les dates correspondent au jour de prélèvement.

8. - LES LIMITES DE DETECTION

Les *limites de détection*, pour un même type d'analyse sur des échantillons de même nature, peuvent varier de manière sensible en fonction :

- de l'utilisation de chaînes de comptage ou de spectrométrie différentes (bruit de fond et rendements différents),
- des quantités d'échantillon utilisées (masse, volume),
- du rendement variable des traitements radiochimiques (déterminé par ajout de traceurs).

Les *limites de détection* de l'appareillage de mesures de radioactivité ont été calculées conformément au rapport CEA R-5201 (1983) – *Limite de détection d'un signal dans un bruit de fond. Application aux mesures de radioactivité par comptage* – du Groupe de Travail Techniques Analytiques et au rapport CEA R-5506 (1989) – *Détermination du seuil et de la limite de détection en spectrométrie gamma* – du Groupe de Travail de Normalisation n° 5.

Les tableaux suivants présentent les *limites de détection* (LD) les plus courantes pour les différents types d'échantillons étudiés en fonction des radionucléides mesurés.

Types de prélèvement	Radionucléides mesurés	Limites de détection courantes
AÉROSOLS	^{7}Be	de 2.10^{-5} à 4.10^{-5} Bq.m^{-3}
	^{22}Na	de 3.10^{-7} à 6.10^{-7} Bq.m^{-3}
	^{40}K	de 3.10^{-6} à 6.10^{-6} Bq.m^{-3}
	^{210}Pb	de 3.10^{-6} à 1.10^{-5} Bq.m^{-3}
	^{137}Cs	de 2.10^{-7} à 5.10^{-7} Bq.m^{-3}
	^{238}Pu	de 6.10^{-9} à 3.10^{-8} Bq.m^{-3}
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 8.10^{-9} à 3.10^{-8} Bq.m^{-3}
SOLS	^{40}K	de 0,5 à 2,0 Bq.kg^{-1}
	^{210}Pb	de 1 à 3 Bq.kg^{-1}
	^{234}Th	de 2,0 à 5,0 Bq.kg^{-1}
	^{226}Ra	de 0,5 à 2,0 Bq.kg^{-1}
	^{235}U	de 0,1 à 0,4 Bq.kg^{-1}
	^{228}Th	de 0,1 à 0,5 Bq.kg^{-1}
	^{228}Ac	de 0,05 à 0,3 Bq.kg^{-1}
	^{60}Co	de 0,05 à 0,4 Bq.kg^{-1}
	^{90}Sr	de 3 à 10 Bq.kg^{-1}
	^{125}Sb	de 0,05 à 0,5 Bq.kg^{-1}
	^{137}Cs	de 0,02 à 0,1 Bq.kg^{-1}
	^{155}Eu	de 0,3 à 0,8 Bq.kg^{-1}
	^{238}Pu	de 0,05 à 0,2 Bq.kg^{-1}
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 0,05 à 0,2 Bq.kg^{-1}
	^{241}Am	de 0,3 à 0,8 Bq.kg^{-1}
EAU DE COCO	^{40}K	de 0,1 à 0,4 Bq.kg^{-1}
	^{60}Co	de 0,002 à 0,02 Bq.kg^{-1}
	^{137}Cs	de 0,004 à 0,02 Bq.kg^{-1}
	^{90}Sr	de 0,04 à 0,2 Bq.kg^{-1}
	^{238}Pu	de 1.10^{-4} à 4.10^{-4} Bq.kg^{-1}
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 1.10^{-4} à 4.10^{-4} Bq.kg^{-1}
COPRAH	^{40}K	de 0,5 à 2 Bq.kg^{-1}
	^{60}Co	de 0,01 à 0,1 Bq.kg^{-1}
	^{137}Cs	de 0,02 à 0,1 Bq.kg^{-1}
	^{90}Sr	de 0,02 à 1 Bq.kg^{-1}
	^{238}Pu	de 4.10^{-4} à 2.10^{-3} Bq.kg^{-1}
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 4.10^{-4} à 2.10^{-3} Bq.kg^{-1}
EAU SOUTERRAINE	HTO	de 4.10^{3} à 6.10^{3} Bq.m^{-3}
	^{90}Sr	de 1 à 2 Bq.m^{-3}
	^{137}Cs	de 1 à 2 Bq.m^{-3}
	^{238}Pu	de 0,03 à 0,1 Bq.m^{-3}
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 0,03 à 0,1 Bq.m^{-3}

Types de prélèvement	Radionucléides mesurés	Limites de détection courantes
SÉDIMENT DE LAGON	^{40}K	de 0,5 à 2,0 $Bq.kg^{-1}$
	^{210}Pb	de 1 à 3 $Bq.kg^{-1}$
	^{234}Th	de 2,0 à 5,0 $Bq.kg^{-1}$
	^{226}Ra	de 0,5 à 2,0 $Bq.kg^{-1}$
	^{235}U	de 0,1 à 0,4 $Bq.kg^{-1}$
	^{228}Th	de 0,1 à 0,5 $Bq.kg^{-1}$
	^{228}Ac	de 0,05 à 0,3 $Bq.kg^{-1}$
	^{60}Co	de 0,05 à 0,4 $Bq.kg^{-1}$
	^{90}Sr	de 3 à 10 $Bq.kg^{-1}$
	^{125}Sb	de 0,05 à 0,5 $Bq.kg^{-1}$
	^{137}Cs	de 0,02 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$
	^{155}Eu	de 0,3 à 0,8 $Bq.kg^{-1}$
	^{238}Pu	de 0,05 à 0,2 $Bq.kg^{-1}$
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 0,05 à 0,2 $Bq.kg^{-1}$
	^{241}Am	de 0,3 à 0,8 $Bq.kg^{-1}$
TROCA	^{40}K	de 0,5 à 2 $Bq.kg^{-1}$
	^{60}Co	de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$
	^{137}Cs	de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$
	^{90}Sr	de 0,1 à 1 $Bq.kg^{-1}$
	^{238}Pu	de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
EAU DE LAGON	HTO	de 500 à 1000 $Bq.m^{-3}$
	^{90}Sr	de 0,1 à 0,3 $Bq.m^{-3}$
	^{137}Cs	de 0,05 à 0,1 $Bq.m^{-3}$
	^{238}Pu	de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.m^{-3}$
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.m^{-3}$
PLANCTON LAGON	^{40}K	de 0,5 à 2 $Bq.kg^{-1}$
	^{60}Co	de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$
	^{137}Cs	de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$
	^{90}Sr	de 0,1 à 1 $Bq.kg^{-1}$
	^{238}Pu	de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
MÉROU	^{40}K	de 0,5 à 2 $Bq.kg^{-1}$
	^{60}Co	de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$
	^{137}Cs	de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$
	^{90}Sr	de 0,1 à 1 $Bq.kg^{-1}$
	^{238}Pu	de 1.10^{-3} à 1.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 1.10^{-3} à 1.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$

Types de prélèvement	Radionucléides mesurés	Limites de détection courantes
CHIRURGIEN	^{40}K ^{60}Co ^{137}Cs ^{90}Sr ^{238}Pu $^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 0,5 à 2 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,1 à 1 $Bq.kg^{-1}$ de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$ de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
TURBO	^{40}K ^{60}Co ^{137}Cs ^{90}Sr ^{238}Pu $^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 0,5 à 2 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,1 à 1 $Bq.kg^{-1}$ de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$ de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
EAU FLANC D'ATOLL	HTO ^{90}Sr ^{137}Cs ^{238}Pu $^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 500 à 1000 $Bq.m^{-3}$ de 0,1 à 0,3 $Bq.m^{-3}$ de 0,01 à 0,05 $Bq.m^{-3}$ de 1.10^{-3} à 1.10^{-2} $Bq.m^{-3}$ de 1.10^{-3} à 1.10^{-2} $Bq.m^{-3}$
CREVETTE DE PROFONDEUR	^{40}K ^{60}Co ^{137}Cs ^{90}Sr ^{238}Pu $^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 0,5 à 2 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,1 à 1 $Bq.kg^{-1}$ de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$ de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
GYMNOSARDE	^{40}K ^{60}Co ^{137}Cs ^{90}Sr ^{238}Pu $^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 0,5 à 2 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,1 à 1 $Bq.kg^{-1}$ de 1.10^{-3} à 1.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$ de 1.10^{-3} à 1.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
PLANCTON FLANC D'ATOLL	^{40}K ^{60}Co ^{137}Cs ^{90}Sr ^{238}Pu $^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 0,5 à 2 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,1 à 1 $Bq.kg^{-1}$ de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$ de 5.10^{-3} à 2.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$
THON YELLOWFIN	^{40}K ^{60}Co ^{137}Cs ^{90}Sr ^{238}Pu $^{239}Pu + ^{240}Pu$	de 0,5 à 2 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$ de 0,1 à 1 $Bq.kg^{-1}$ de 1.10^{-3} à 1.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$ de 1.10^{-3} à 1.10^{-2} $Bq.kg^{-1}$

9. - ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

9.1. - UN SUIVI PERMANENT

Lorsque le nombre d'analyses effectuées depuis plusieurs années sur un type d'échantillon donné est suffisant, nous utilisons ces résultats comme population de référence à laquelle sont comparées les valeurs de l'année en cours.

Si la population de référence présente un phénomène de décroissance au cours du temps, par exemple le ^{137}Cs dans l'eau de coco, nous estimons la période apparente de décroissance (figure 5).

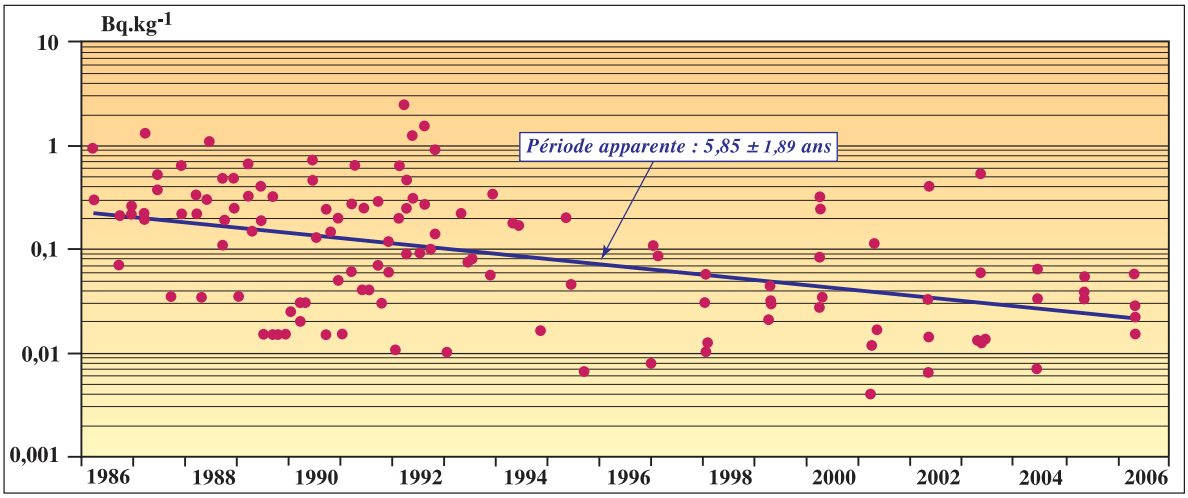


Figure 5 : Décroissance du ^{137}Cs dans l'eau de coco.

Afin de s'affranchir de cette décroissance, les activités massiques sont ramenées à la date de prélèvement de l'année en cours en utilisant la période apparente (figure 6).

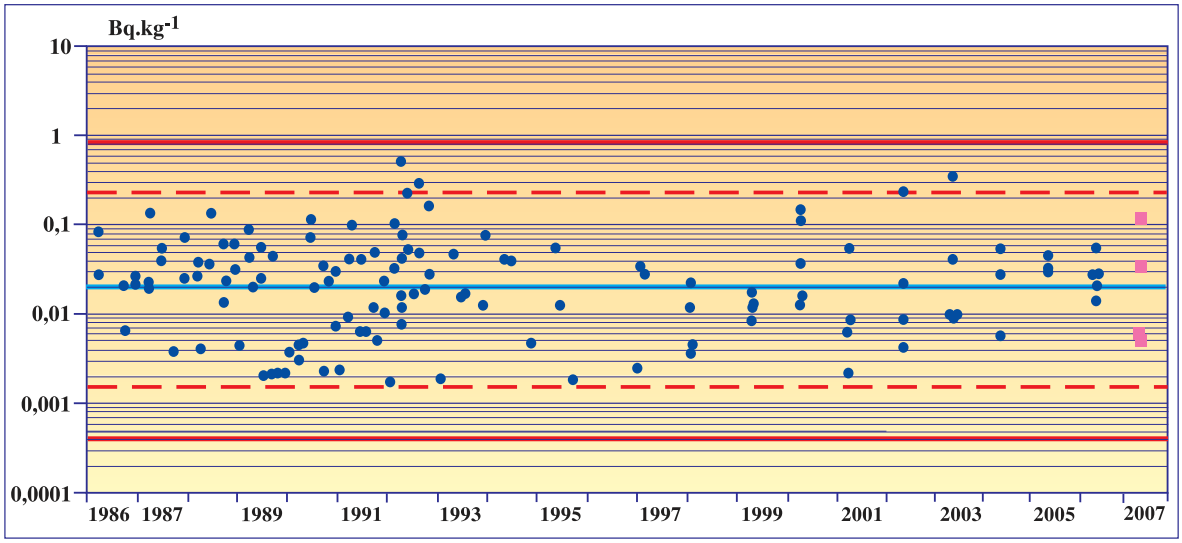


Figure 6 : Activité du ^{137}Cs dans l'eau de coco ramenée au 01.05.07.

9.2. – DISTRIBUTION DE LA RADIOACTIVITE MASSIQUE CORRIGEE DE LA DECROISSANCE

On vérifie que la distribution peut être assimilée soit à une loi normale comme par exemple le ^{40}K dans l'eau de coco (figure 7) soit à une loi log-normale comme le ^{137}Cs dans l'eau de coco (figure 8) en construisant l'histogramme de répartition des valeurs par classe de radioactivité.

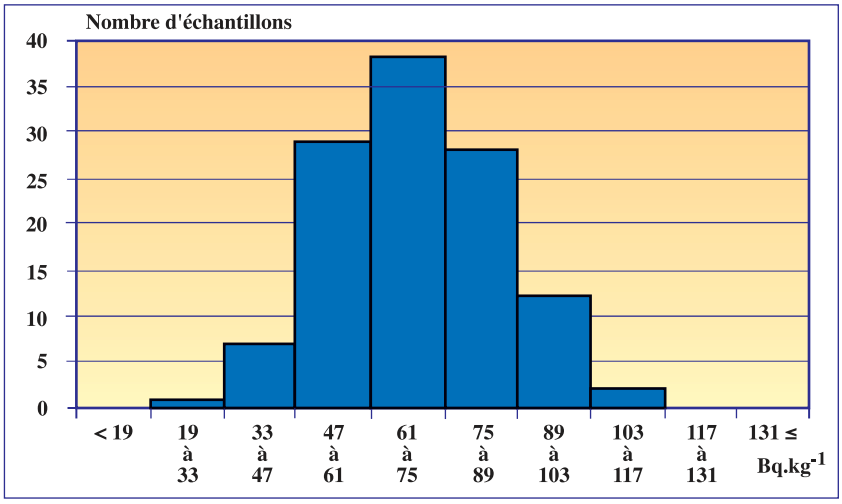


Figure 7 : Répartition de type loi normale de l'activité massique du ^{40}K dans les prélèvements d'eau de coco.

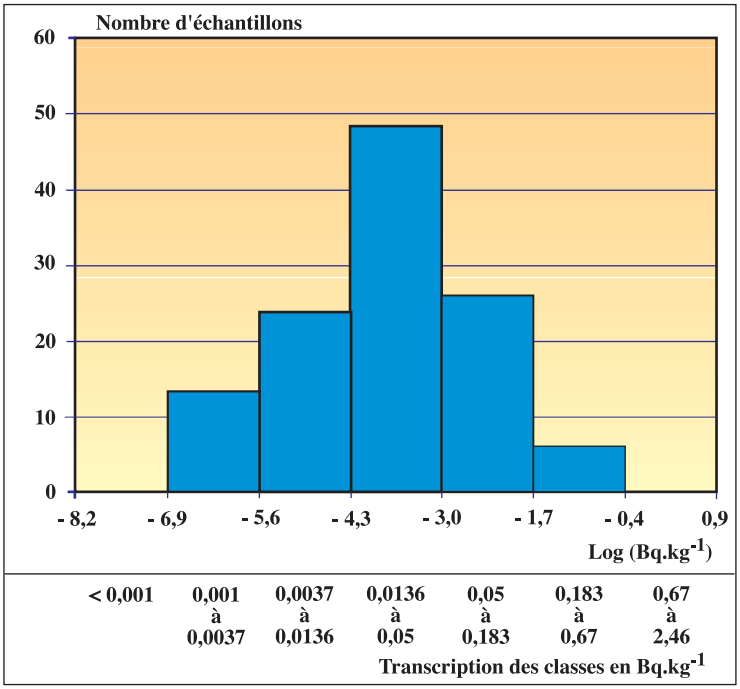


Figure 8 : Répartition de type loi log-normale de l'activité massique du ^{137}Cs dans les prélèvements d'eau de coco.

Si la répartition est de type loi normale, la moyenne et l'écart-type sont respectivement estimés par $\bar{x}$ et σ_x selon les formules suivantes :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

n étant le nombre d'échantillons pris en compte
$\mathbf{x_i}$ le résultat de mesure de l'échantillon i

Si la répartition est de type loi log-normale, en prenant :

$$y_i = \text{Ln}\, x_i$$

La répartition des y_i est de type loi normale.

La moyenne et l'écart-type sont respectivement estimés par y et σ_y selon les formules suivantes :

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

9.3. – EXPRESSION DES RESULTATS

Si la répartition est de type loi normale :

L'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne est :

$$\left[\bar{x} - 2 \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \; ; \; \bar{x} + 2 \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \right]$$

et la dispersion des résultats est donnée par l'intervalle de probabilité suivant (p = 0,997) :

$$\left[\bar{x} - 3 \cdot \sigma_x \; ; \; \bar{x} + 3 \cdot \sigma_x \right]$$

Si la répartition est de type log-normale :

La moyenne géométrique est :

$$\bar{x} = \exp(\bar{y})$$

et la dispersion des résultats est donnée par l'intervalle de probabilité suivant (p = 0,997) :

$$\left[\exp(\bar{y} - 3 \cdot \sigma_y) \; ; \; \exp(\bar{y} + 3 \cdot \sigma_y) \right]$$

Dans le cas où la dispersion des résultats est très importante, l'intervalle de probabilité (p = 0,95) sera utilisé (moyenne ± 2 σ).

9.4. – INCERTITUDE SUR LA PERIODE APPARENTE

La pente b de la droite de régression est :

$$b = \frac{Cov\ (t, y)}{\sigma_t^2}$$

y étant une variable normale, **b** est également normale puisque c'est une fonction linéaire de **y** et que **t** n'est pas aléatoire.

La variance de **b** est estimée par S_b^2 :

$$S_b^2 = \frac{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - b\, t_i \right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(t_i - \bar{t} \right)^2}$$

où : $y_i = L_n\, x_i$

t_i est le temps

et **n** le nombre d'échantillons

Le rapport $\mathbf{d = \frac{b}{S_b}}$ suit une loi de Student à $\mathbf{n = 2}$ degrés de liberté

et l'intervalle de confiance de la pente s'écrit :

$$\mathbf{b \pm d \,.\, S_b}$$

d est une fonction du nombre γ de degrés de liberté et du niveau de probabilité retenu **(1 -** α**)** ; pour un niveau de 97,5 % et un γ moyen de 60 échantillons, **d** est proche de **2.**

L'incertitude sur la pente s'écrit donc :

$$\left[\mathbf{T \pm \left(\frac{d \,.\, S_b}{b} \cdot T \right)} \right]$$

9.5. – INCERTITUDE SUR UN RAPPORT ISOTOPIQUE

Soit deux résultats :

$$\mathbf{A \pm a} \qquad \text{et} \qquad \mathbf{B \pm b}$$

Le rapport isotopique **RI = A / B** est associé à une incertitude de **ri**

$$\mathbf{RI \pm ri}$$

Cette incertitude élargie au facteur d'élargissement **k = 2** se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$\mathbf{ri = \frac{A}{B} \sqrt{\left(\frac{a}{A}\right)^2 + \left(\frac{b}{B}\right)^2}}$$

Dans le corps du rapport, quand une des deux valeurs **(A ou B)** est inférieure à la Limite de Détection (LD), nous ne calculons pas le rapport **A / B**.

9.6. – COMPARAISON DES RESULTATS DE L'ANNEE AVEC LA POPULATION DE REFERENCE

On vérifie que les valeurs de l'année en cours se situent dans l'intervalle de probabilité.

Les valeurs à l'extérieur de cet intervalle sont très peu probables (probabilité inférieure à 0,003) ; elles sont considérées comme ne faisant pas partie de la population de référence (valeurs hors normes souvent dénommées valeurs aberrantes).

Les points correspondants aux valeurs hors normes et à celles de l'année figurent sur les courbes avec un motif différent (figure 9).

Les valeurs hors norme figurent sur les courbes, mais sont retirées de la population pour les différents calculs (y compris ceux de la période apparente).

Dans le texte, le nombre d'échantillons comprend les valeurs hors norme.

La ligne bleue représente la moyenne et les lignes rouges délimitent l'intervalle de probabilité, respectivement (p = 0,997 ; ligne continue) et (p = 0,95 ; ligne en pointillés).

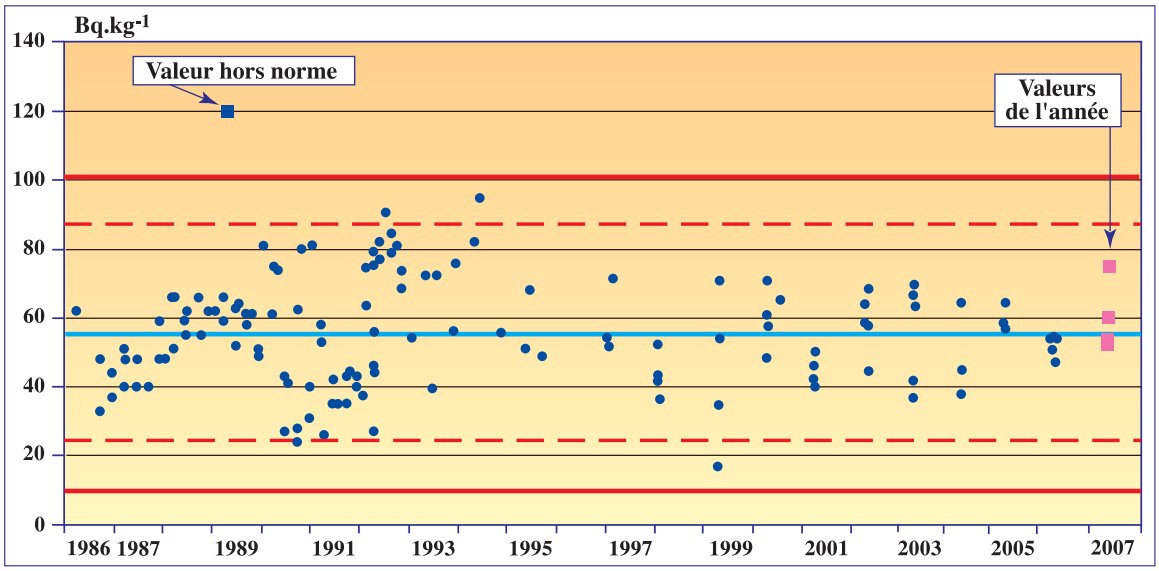


Figure 9 : Activité du ^{40}K dans l'eau de coco (jusqu'en 2006).

9.7. – RESULTATS DES ANNEES ANTERIEURES

Certains prélèvements ne sont pas réalisés soit :

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

Dans ce cas, afin que le rapport de surveillance soit autoporteur, nous intégrons les mesures liées à ces prélèvements dans les annexes du présent rapport.

Chapitre I
LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU PERSONNEL

Sur l'atoll de Mururoa, un détachement militaire du RIMAP-P est chargé du gardiennage.

La surveillance de l'environnement radiologique de ce personnel est assurée par :

- des dosimètres implantés en 6 points de l'atoll,
- des prélèvements journaliers d'aérosols en zone Martine,
- des prélèvements d'eau du robinet en zone Martine
- et des prélèvements annuels de sable de la plage entre les zones Anémone et Martine.

I.1. - L'IRRADIATION AMBIANTE

I.1.1. – LA METHODE UTILISEE

Les mesures sont réalisées à l'extérieur des habitations au moyen de dosimètres thermoluminescents du type PGP1, équipés de pastilles de $CaSO_4$ activées au dysprosium (Dy) (seuil de sensibilité de 5 µGy). Ces dosimètres sont relevés et lus tous les 4 mois. Le résultat fourni est donné pour l'année calendaire concernée en faisant l'hypothèse d'absence de variation notable durant les périodes d'exposition, à cheval sur deux années.

Récupération d'un dosimètre à Mururoa.

La mesure de l'exposition externe est effectuée en 6 emplacements sur l'atoll de Mururoa (figure I.1.).

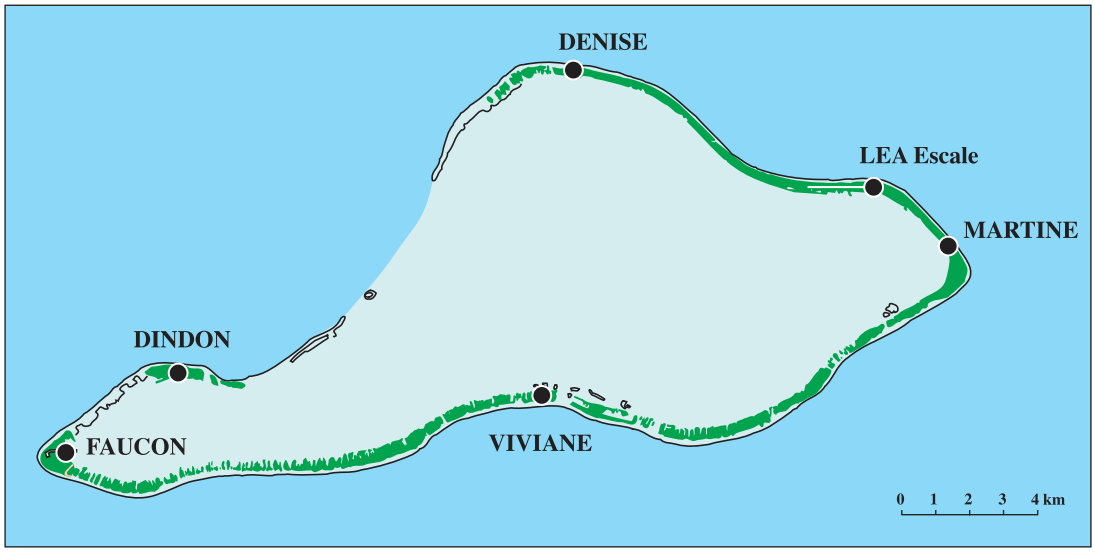


Figure I.1. : Emplacements des dosimètres sur l'atoll de Mururoa.

I.1.2. - LES RESULTATS

Le tableau I.1. regroupe les résultats obtenus en 2007.
La valeur moyenne annuelle est de 217 ± 33 µGy.

Emplacement d'exposition	Exposition externe (en μGy)
DENISE	219 ± 33
LEA Escale	221 ± 33
MARTINE	227 ± 34
VIVIANE	210 ± 32
FAUCON	213 ± 32
DINDON	210 ± 32
Moyenne	*217 ± 33*

Tableau I.1. : Mesures de l'exposition externe à Mururoa en 2007.

La figure I.2. présente l'évolution de l'exposition externe.

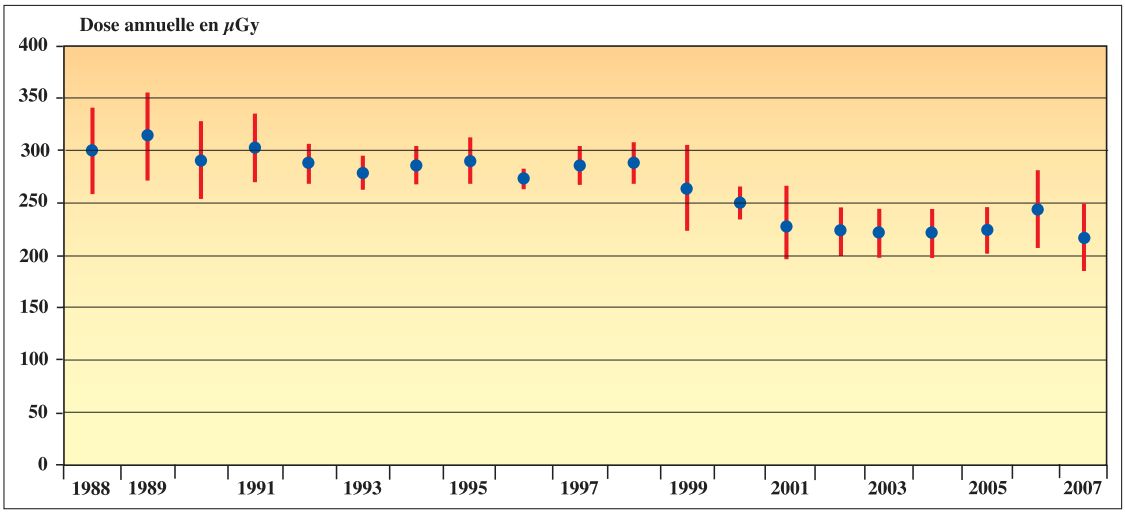


Figure I.2. : Dose annuelle d'irradiation externe à Mururoa depuis 1988.
(Moyenne effectuée sur les 6 dosimètres).

I.2. - LA SURVEILLANCE ATMOSPHERIQUE

I.2.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Les aérosols sont collectés sur des filtres de 110 mm de diamètre utile. Deux appareils de prélèvement fonctionnent en permanence à Mururoa. Ces deux appareils de type CASA 110, sont essentiellement constitués d'une pompe grand débit (100 $m^3.h^{-1}$). Les filtres sont changés tous les jours. Ils sont regroupés par mois et expédiés en métropole pour y être analysés.

Le 1er janvier 2007, les nouveaux CASA installés à Mururoa ont remplacé les anciens CASA. Depuis avril 2006, les nouveaux CASA fonctionnaient en parallèle avec les anciens. Pendant cette période, les résultats obtenus sur l'ensemble des radionucléides mesurés (hormis les plutonium) étaient du même ordre de grandeur. La figure I.3. donne la localisation des emplacements des anciens et des nouveaux CASA.

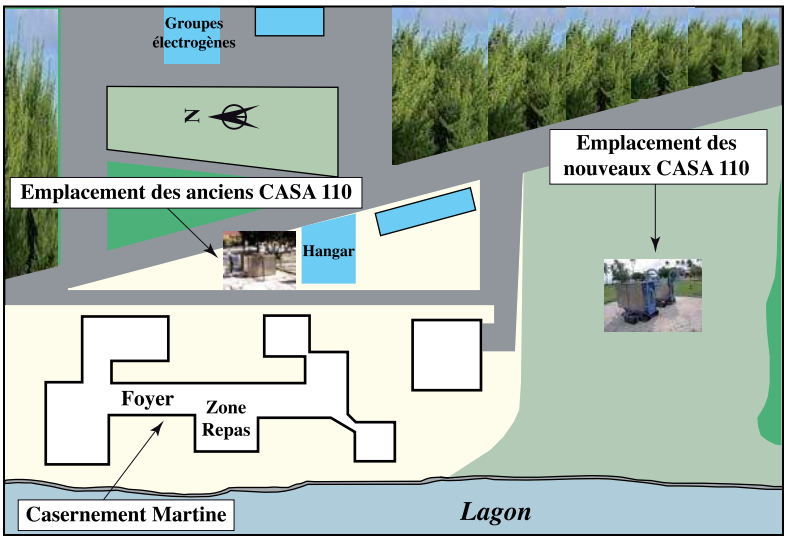


Figure I.3. : Localisation des anciens et nouveaux CASA 110 en zone Martine.

Les filtres de l'appareil de référence font l'objet d'une mesure directe par spectrométrie γ sur détecteur semi-conducteur 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 α.

Les filtres de l'appareil de secours regroupés par semestre sont mesurés par spectrométrie gamma au laboratoire souterrain de Modane.
En cas de panne de l'un des appareils, les mesures mensuelles sont effectuées, mais celles de Modane ne sont réalisées que sur les filtres disponibles.

Nouveaux appareils de prélèvement (type CASA 110)

I.2.2. – LES RESULTATS

Les volumes quotidiens sont de l'ordre de 2 500 m^3 et les volumes mensuels de l'ordre de 72 400 m^3.

Les résultats (^{7}Be, ^{22}Na, ^{40}K, ^{210}Pb, ^{137}Cs, ^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu) seront examinés radionucléide par radionucléide. ^{7}Be, ^{22}Na, ^{40}K et ^{210}Pb sont quatre radionucléides naturels qui peuvent être considérés comme des traceurs atmosphèriques (^{7}Be, ^{22}Na pour les hautes couches et ^{40}K, ^{210}Pb pour les basses couches). ^{137}Cs, ^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu sont des radionucléides artificiels.

La radioactivité artificielle dans le Pacifique Sud ne cesse de décroître, atteignant actuellement des niveaux difficilement mesurables. C'est ainsi que les mesures du ^{137}Cs conduisent fréquemment à des résultats non significatifs ($\leq$ LD). Depuis 1992, afin d'améliorer les limites de détection de ces mesures, les prélèvements sont regroupés par semestre et analysés dans les ensembles de spectrométrie installés au laboratoire souterrain de Modane.

Radioactivité d'origine naturelle

Béryllium 7

Le tableau I.2. regroupe les moyennes mensuelles de l'activité atmosphérique due au ^{7}Be (radionucléide naturel).

Janvier	**(2,98 ± 0,34) . 10^{-3}**
Février	**(2,19 ± 0,25) . 10^{-3}**
Mars	**(3,30 ± 0,38) . 10^{-3}**
Avril	**(2,88 ± 0,32) . 10^{-3}**
Mai	**(3,63 ± 0,41) . 10^{-3}**
Juin	**(3,56 ± 0,40) . 10^{-3}**
Juillet	**(4,00 ± 0,46) . 10^{-3}**
Août	**(2,58 ± 0,29) . 10^{-3}**
Septembre	**(2,96 ± 0,33) . 10^{-3}**
Octobre	**(4,33 ± 0,50) . 10^{-3}**
Novembre	**(4,36 ± 0,50) . 10^{-3}**
Décembre	**(2,58 ± 0,30) . 10^{-3}**
Moyenne	***(3,28 ± 0,39) . 10^{-3}***

Tableau I.2. : Activité atmosphérique (Bq.m^{-3}) due au ^{7}Be en 2007.

Ce radionucléide, produit principalement dans les hautes couches de l'atmosphère par interaction du rayonnement cosmique avec les atomes d'oxygène et d'azote, est uniquement émetteur γ (il se désintègre par capture électronique).

Le béryllium 7 est systématiquement mesuré dans les échantillons. La valeur moyenne, calculée sur les 117 échantillons prélevés depuis 1997 avec les anciens CASA, est de (3,6 ± 0,12).10^{-3} Bq.m^{-3}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [1,7 ; 5,5].10^{-3} Bq.m^{-3} traduit la dispersion des résultats. Les résultats 2007 (nouveaux CASA) qui varient entre [2,19 et 4,36].10^{-3} Bq.m^{-3} sont compris dans cet intervalle. La figure I.4. présente l'évolution des activités moyennes mensuelles en ^{7}Be depuis 1997. Les valeurs statistiquement incertaines (cf. Préambule) correspondent le plus souvent au mois d'août. Les résultats en ^{7}Be sur les anciens et les nouveaux CASA ne montrent pas de différence notable.

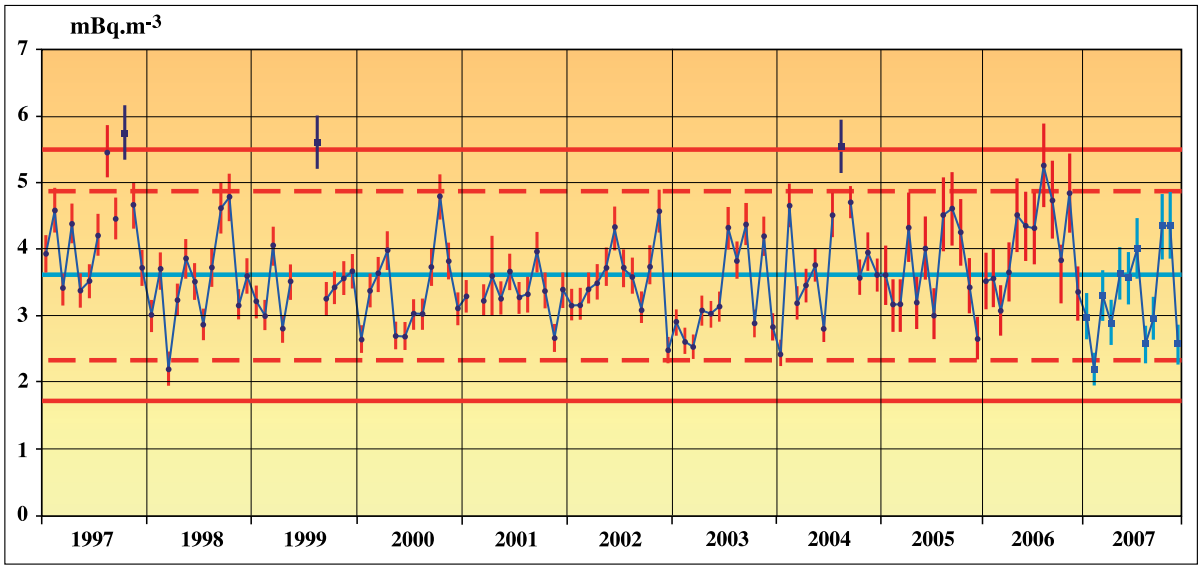


Figure I.3. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle due au ^{7}Be depuis 1997.

Sodium 22

Le tableau I.3. regroupe les moyennes mensuelles de l'activité atmosphérique due au ^{22}Na (radionucléide cosmogénique naturel).

Janvier	**$(0,35 \pm 0,16) . 10^{-6}$**
Février	**$\leq 0,57 . 10^{-6}$**
Mars	**$(0,35 \pm 0,16) . 10^{-6}$**
Avril	**$(0,31 \pm 0,04) . 10^{-6}$**
Mai	**$\leq 0,60 . 10^{-6}$**
Juin	**$\leq 0,60 . 10^{-6}$**
Juillet	**$\leq 0,84 . 10^{-6}$**
Août	**$\leq 0,67 . 10^{-6}$**
Septembre	**$\leq 0,47 . 10^{-6}$**
Octobre	**$\leq 1,08 . 10^{-6}$**
Novembre	**$\leq 0,68 . 10^{-6}$**
Décembre	**$(0,37 \pm 0,17) . 10^{-6}$**

Tableau I.3. : Activité atmosphérique (Bq.m^{-3}) due au ^{22}Na en 2007.

L'amélioration des techniques d'analyse de ces dernières années permet de mesurer régulièrement ce radionucléide dans les prélèvements groupés mensuellement.

La figure I.5. présente l'évolution des activités moyennes mensuelles en ^{22}Na depuis 1997.

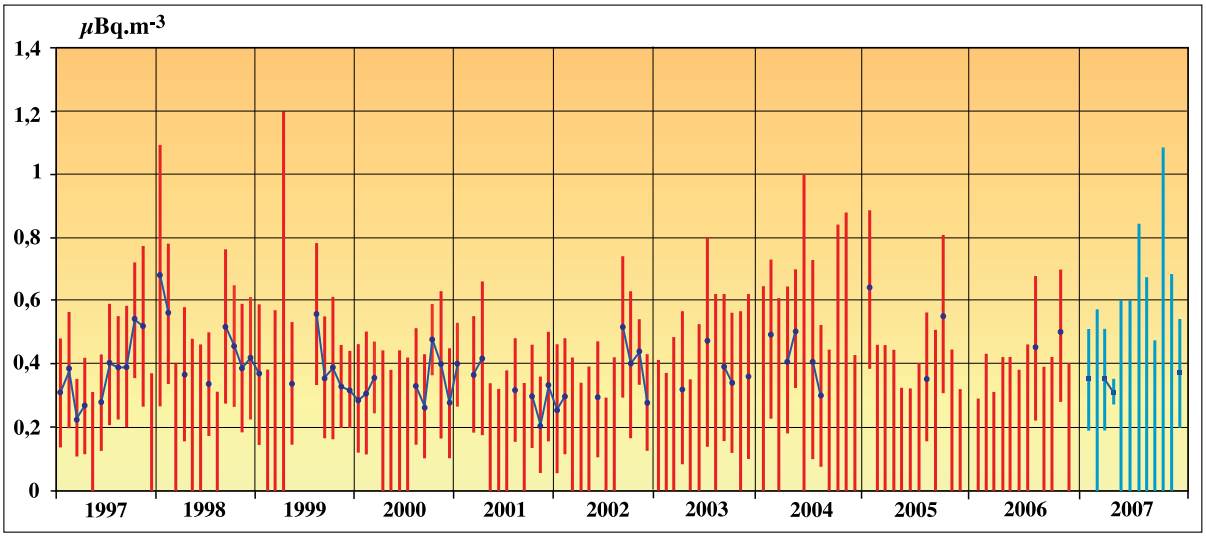


Figure I.5. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle due au ^{22}Na depuis 1997.

Les résultats des mesures réalisées dans le laboratoire souterrain de Modane sur les prélèvements atmosphériques groupés par semestre sont donnés dans le tableau I.4.

Janvier - Juin	**$(0,24 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$**
Juillet - Décembre	**$(0,32 \pm 0,07) \cdot 10^{-6}$**

Tableau I.4. : Activité atmosphérique due au ^{22}Na en 2007.
(moyenne semestrielle en Bq.m^{-3}).

L'activité en ^{22}Na est sans variation notable par rapport aux années précédentes.

Potassium 40

Ce radionucléide provient du sol et partiellement de l'océan. Son activité est directement liée à la situation géographique des appareils de prélèvement. Le tableau I.5. regroupe les activités moyennes mensuelles obtenues.

Janvier	**$(13,6 \pm 6,0) \cdot 10^{-6}$**
Février	**$(14,0 \pm 6,0) \cdot 10^{-6}$**
Mars	**$(13,2 \pm 2,9) \cdot 10^{-6}$**
Avril	**$(13,0 \pm 2,2) \cdot 10^{-6}$**
Mai	**$(14,9 \pm 7,6) \cdot 10^{-6}$**
Juin	**$(12,4 \pm 2,9) \cdot 10^{-6}$**
Juillet	**$(10,7 \pm 3,2) \cdot 10^{-6}$**
Août	**$(11,3 \pm 3,4) \cdot 10^{-6}$**
Septembre	**$(11,1 \pm 6,2) \cdot 10^{-6}$**
Octobre	**$(14,3 \pm 3,1) \cdot 10^{-6}$**
Novembre	**$(17,2 \pm 3,4) \cdot 10^{-6}$**
Décembre	**$(11,0 \pm 8,2) \cdot 10^{-6}$**
Moyenne	***$(13,1 \pm 1,1) \cdot 10^{-6}$***

Tableau I.5. : Activité atmosphérique (Bq.m^{-3}) due au ^{40}K en 2007.

La valeur moyenne, calculée sur les 95 échantillons prélevés depuis janvier 1999 avec les anciens CASA, est de $(13,3 \pm 0,6).10^{-6}$ Bq.m^{-3}. L'intervalle de probabilité 99,7 % $[4,6 ; 22].10^{-6}$ Bq.m^{-3} traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2007 (nouveaux CASA), qui varient entre $[10,7$ et $17,2].10^{-6}$ Bq.m^{-3}, sont comprises dans cet intervalle.

La figure I.6. présente l'évolution des activités moyennes mensuelles en ^{40}K depuis janvier 1999.

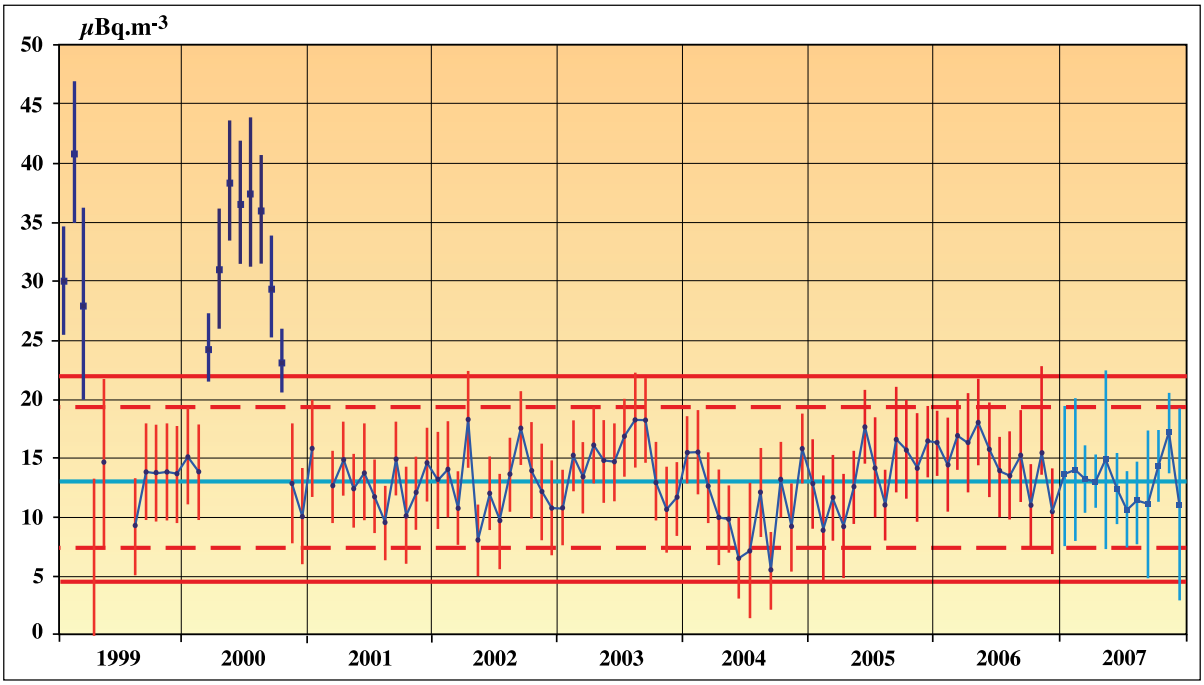


Figure I.6. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle due au ^{40}K depuis janvier 1999.

L'augmentation des valeurs en ^{40}K constatée durant l'hiver austral 2000 (certainement due aux embruns salins sur les filtres) n'est pas constatée depuis.

Dans le tableau I.6. sont présentés les résultats semestriels obtenus à Modane.

Janvier - Juin	**$(11,4 \pm 1,3) \cdot 10^{-6}$**
Juillet - Décembre	**$(9,8 \pm 0,8) \cdot 10^{-6}$**

Tableau I.6. : Activité atmosphérique ($Bq.m^{-3}$) due au ^{40}K en 2007.

Plomb 210

Le ^{210}Pb présent dans la basse atmosphère est directement produit par la désintégration du ^{222}Rn. Il est rapidement piégé par les aérosols, puis déposé au sol par les précipitations.

Les moyennes mensuelles, obtenues cette année, sont données dans le tableau I.7. La figure I.7. présente l'évolution des activités moyennes mensuelles en ^{210}Pb depuis 1997.

Janvier	**(82,9 ± 13,0) . 10^{-6}**
Février	**(49,6 ± 9,4) . 10^{-6}**
Mars	**(64,7 ± 10,6) . 10^{-6}**
Avril	**(38,6 ± 4,2) . 10^{-6}**
Mai	**(37,8 ± 7,9) . 10^{-6}**
Juin	**(63,4 ± 10,7) . 10^{-6}**
Juillet	**(44,3 ± 6,2) . 10^{-6}**
Août	**(50,9 ± 7,1) . 10^{-6}**
Septembre	**(63,6 ± 12,2) . 10^{-6}**
Octobre	**(74,9 ± 12,8) . 10^{-6}**
Novembre	**(50,7 ± 9,3) . 10^{-6}**
Décembre	**(62,1 ± 7,7) . 10^{-6}**
Moyenne	***(57,0 ± 7,7) . 10^{-6}***

Tableau I.7. : Activité atmosphérique (Bq.m^{-3}) due au ^{210}Pb en 2007.

Le plomb 210 est systématiquement mesuré dans les échantillons. La valeur moyenne, calculée sur les 117 échantillons prélevés depuis 1997 (ancien CASA), est de (70,7 ± 3,5).10^{-6} Bq.m^{-3}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [13,2 ; 128].10^{-6} Bq.m^{-3} traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2007 (nouveaux CASA), qui varient entre [37,8 et 82,9].10^{-6} Bq.m^{-3}, sont comprises dans cet intervalle.

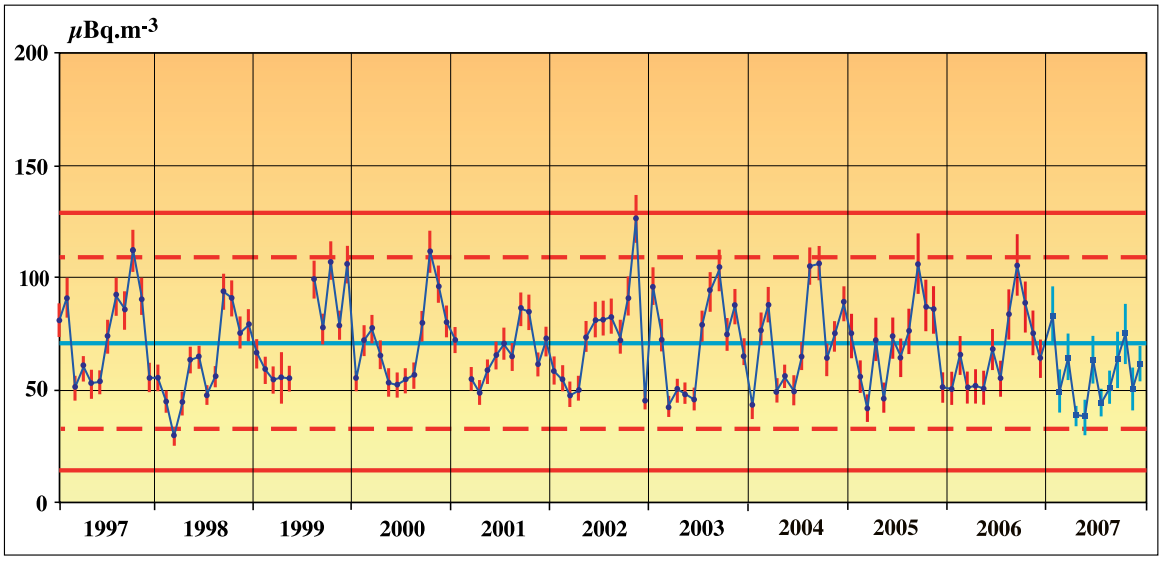


Figure I.7. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle due au ^{210}Pb depuis 1997.

Les valeurs les plus élevés sont mesurées durant le printemps austral.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137

Les moyennes mensuelles obtenues sont données dans le tableau I.8. Comme les années précédentes, ces valeurs sont inférieures aux limites de détection.

Janvier	**$\leq 0{,}45 \cdot 10^{-6}$**
Février	**$\leq 0{,}46 \cdot 10^{-6}$**
Mars	**$\leq 0{,}49 \cdot 10^{-6}$**
Avril	**$\leq 0{,}41 \cdot 10^{-6}$**
Mai	**$\leq 0{,}55 \cdot 10^{-6}$**
Juin	**$\leq 0{,}49 \cdot 10^{-6}$**
Juillet	**$\leq 0{,}75 \cdot 10^{-6}$**
Août	**$\leq 0{,}61 \cdot 10^{-6}$**
Septembre	**$\leq 0{,}47 \cdot 10^{-6}$**
Octobre	**$\leq 0{,}57 \cdot 10^{-6}$**
Novembre	**$\leq 0{,}59 \cdot 10^{-6}$**
Décembre	**$\leq 0{,}54 \cdot 10^{-6}$**

Tableau I.8. : Activité atmosphérique ($Bq.m^{-3}$) due au ^{137}Cs en 2007.

Dans le tableau I.9. sont présentés les résultats semestriels obtenus à Modane. La figure I.8. présente l'évolution des activités moyennes semestrielles en ^{137}Cs depuis 1997.

Janvier - Juin	**$(0{,}048 \pm 0{,}013) \cdot 10^{-6}$**
Juillet - Décembre	**$\leq 0{,}03 \cdot 10^{-6}$**

Tableau I.9. : Activité atmosphérique ($Bq.m^{-3}$) due au ^{137}Cs en 2007.

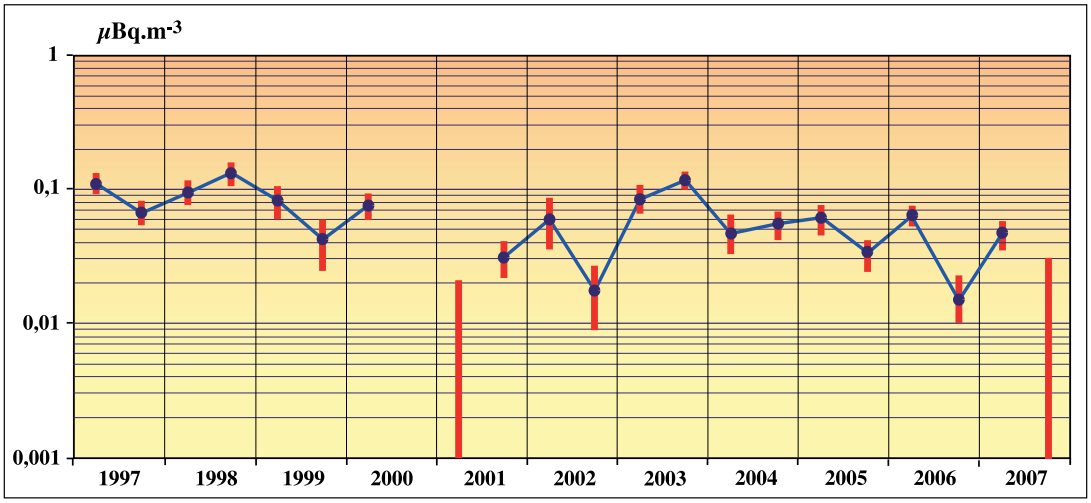


Figure I.8. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne semestrielle due au ^{137}Cs depuis 1997.

Plutonium 238

Le tableau I.10. regroupe les résultats obtenus.

Janvier	**$\leq 0{,}0086 \cdot 10^{-6}$**
Février	**$\leq 0{,}0072 \cdot 10^{-5}$**
Mars	**$\leq 0{,}0088 \cdot 10^{-6}$**
Avril	**$\leq 0{,}0068 \cdot 10^{-6}$**
Mai	**$\leq 0{,}0065 \cdot 10^{-6}$**
Juin	**$\leq 0{,}0068 \cdot 10^{-6}$**
Juillet	**$\leq 0{,}0036 \cdot 10^{-6}$**
Août	**$\leq 0{,}0030 \cdot 10^{-6}$**
Septembre	**$\leq 0{,}0025 \cdot 10^{-6}$**
Octobre	**$\leq 0{,}0030 \cdot 10^{-6}$**
Novembre	**$\leq 0{,}0015 \cdot 10^{-6}$**
Décembre	**$\leq 0{,}0046 \cdot 10^{-6}$**

Tableau I.10. : Activité atmosphérique ($Bq.m^{-3}$) due au ^{238}Pu en 2007.

Comme les années précédentes, l'ensemble des valeurs, relatives au ^{238}Pu, reste inférieur ou proche de la limite de détection.

Plutonium 239 + plutonium 240

Les moyennes mensuelles obtenues sont données dans le tableau I.11.

Janvier	**$\leq 0{,}012 \cdot 10^{-6}$**
Février	**$\leq 0{,}008 \cdot 10^{-6}$**
Mars	**$\leq 0{,}026 \cdot 10^{-6}$**
Avril	**$\leq 0{,}008 \cdot 10^{-6}$**
Mai	**$\leq 0{,}011 \cdot 10^{-6}$**
Juin	**$(0{,}024 \pm 0{,}011) \cdot 10^{-6}$**
Juillet	**$(0{,}020 \pm 0{,}007) \cdot 10^{-6}$**
Août	**$\leq 0{,}006 \cdot 10^{-6}$**
Septembre	**$(0{,}009 \pm 0{,}004) \cdot 10^{-6}$**
Octobre	**$\leq 0{,}004 \cdot 10^{-6}$**
Novembre	**$(0{,}009 \pm 0{,}003) \cdot 10^{-6}$**
Décembre	**$\leq 0{,}005 \cdot 10^{-6}$**

Tableau I.11. : Activité atmosphérique ($Bq.m^{-3}$) due au ^{239}Pu + ^{240}Pu en 2007.

En vue du déplacement des CASA 110, on remarque qu'au nouvel emplacement les valeurs mesurées sont inférieures à celles des anciens CASA (Fig. 1.9.).

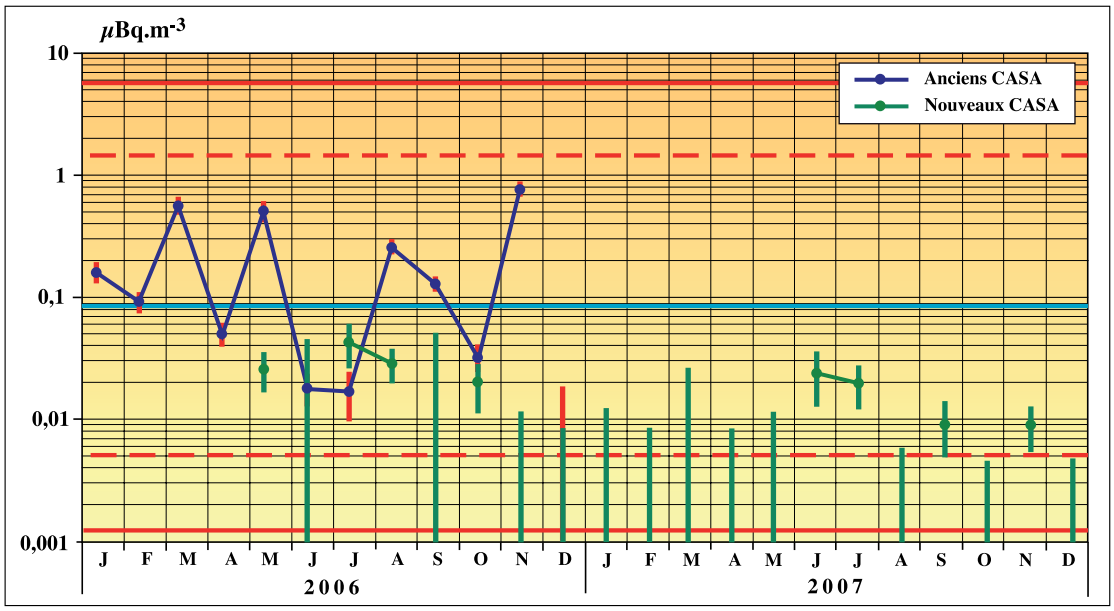


Figure I.9. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle due au ^{239}Pu + ^{240}Pu de janvier 2006 à décembre 2007.

La figure I.10. présente l'évolution des activités moyennes annuelles en ^{239}Pu + ^{240}Pu depuis 1997.

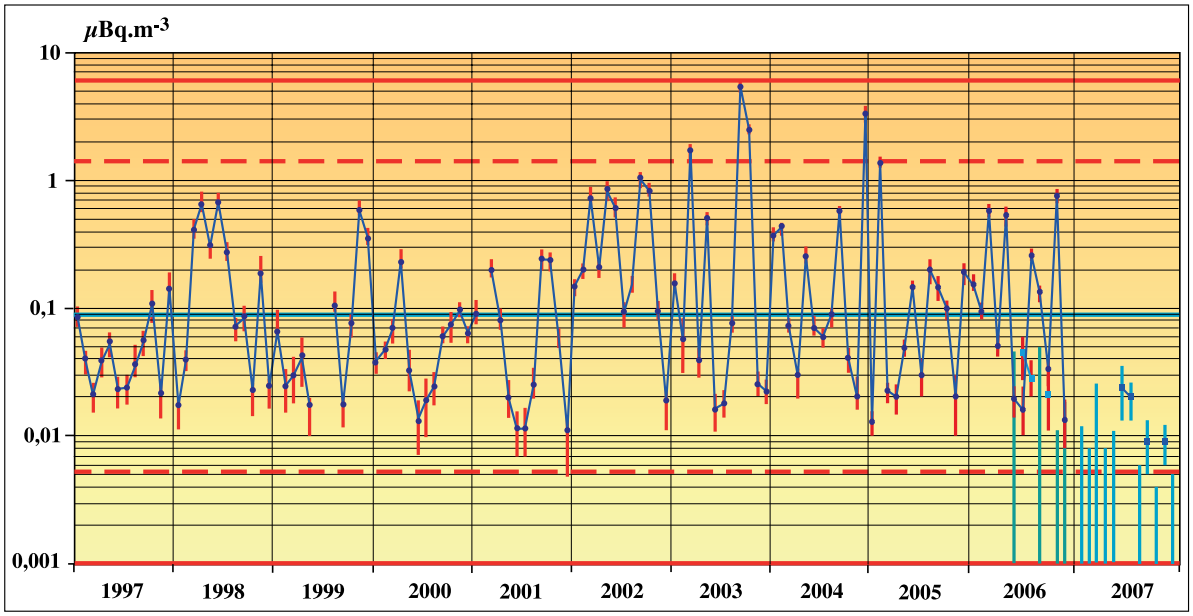


Figure I.10. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle due au ^{239}Pu + ^{240}Pu depuis 1997.

Le plutonium 239 + le plutonium 240 sont systématiquement mesurés dans les échantillons. La moyenne géométrique, calculée sur les 117 échantillons prélevés sur les anciens CASA depuis 1997, est de $0{,}09.10^{-6}$ Bq.m^{-3}. L'intervalle de probabilité 99,7 % $[0{,}001 ; 6].10^{-6}$ Bq.m^{-3} traduit la dispersion des résultats des mesures sur les anciens CASA. Les valeurs mesurées en 2007 sur les nouveaux CASA varient entre $[\leq 0{,}004$ et $0{,}024].10^{-6}$ Bq.m^{-3}. Elles sont comprises dans l'intervalle de confiance des valeurs mesurées sur les anciens CASA.

De manière générale, les valeurs mesurées sur les nouveaux CASA sont le plus souvent inférieures à la limite de détection. Toutefois, en 2006, les valeurs vraies mesurées en juillet et octobre sur les anciens et nouveaux CASA étaient similaires.

I.3. - L'EAU DU ROBINET EN ZONE VIE A MARTINE

À partir de 2006, un prélèvement d'eau du robinet en zone Vie à Martine sera réalisé chaque année. Ce prélèvement sera intégré à la prochaine édition du guide radiologique.

Le prélèvement a été fait dans les locaux de l'ancien Bureau Postal Militaire.

Les volumes prélevés sont :

- de 1 x 30 litres pour la mesure du césium 137, du strontium 90 et du plutonium par ICPMS,
- de 2 x 50 millilitres pour la mesure du tritium sous forme d'eau tritiée.

Le tableau I.12. donne les résultats de 2007. Toutes les valeurs mesurées sont inférieures aux limites de détection, comme les années antérieures.

Date de prélèvement	Activité en $Bq.m^{-3}$			
	HTO	^{90}Sr	^{137}Cs	$^{239}Pu + {}^{240}Pu$
07/04/2007	≤ 1 000	≤ 0,65	≤ 1,1	≤ 0,039

Tableau I.12. : Radioactivité de l'eau du robinet à Martine en 2007.

I.4. - LE SABLE DE PLAGE DE LA ZONE VIE

Depuis 2005, un prélèvement de sable de la plage de la zone Vie est réalisé chaque année.

Prélèvement de sable de plage en zone Vie à Anémone.

I.4.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Les prélèvements de sable de plage sont effectués tous les ans.
Ce prélèvement sera intégré à la prochaine édition du guide radiologique.

Les mesures effectuées sur ces échantillons, après évaporation de l'eau par étuvage, consistent en :

- une spectrométrie γ sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs et autres émetteurs γ),
- une recherche et une mesure du plutonium (^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu) par spectrométrie α sur chambre à grille ou sur chambre à détecteur semi-conducteur Si.

Les mesures du strontium 90 ne sont effectuées que si les valeurs en césium 137 sont supérieures à 1 $Bq.kg^{-1}$ (le dosage du ^{90}Sr est réalisé par comptage β de son descendant radioactif ^{90}Y sur compteur proportionnel bas bruit).

I.4.2. - LES RESULTATS

Les résultats des mesures de la radioactivité des principaux radionucléides naturels (^{40}K, ^{234}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{235}U et ^{228}Ac) et artificiels (^{60}Co, ^{90}Sr, ^{125}Sb, ^{137}Cs, ^{155}Eu, ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu et ^{241}Am) obtenus en 2007 sont donnés. Ils sont exprimés en Becquerel par kilogramme de matière sèche ($Bq.kg^{-1}$ sec).

Le tableau I.13. donne les coordonnées géographiques du prélèvement effectué en 2007.

Plage Anémone 1	**09/04/07**	**21° 49,706' S 138° 47,078' W**

Tableau I.13. : Caractéristiques du prélèvement de sable réalisé en zone Anémone.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le tableau I.14. donne le résultat obtenu cette année.

Plage Anémone 1	**5,02 ± 0,85 $Bq.kg^{-1}$ sec**

Tableau I.14. : Radioactivité en potassium 40 dans le sable de plage d'Anémone en 2007.

L'activité en ^{40}K est proche des valeurs des années précédentes ou de celles mesurées dans les sols ou les sédiments.

Famille naturelle de l'uranium 238

Le tableau I.15. donne le résultat obtenu cette année.

	Activité en Bq.kg^{-1} sec		
	^{234}Th	^{226}Ra*	^{210}Pb
Plage Anémone 1	24,1 ± 2,0	1,23 ± 0,27	≤ 150

* : calculée à partir des mesures sur les descendants du ^{226}Ra (^{214}Pb).

Tableau I.15. : Radioactivité en thorium 234, radium 226 et plomb 210 dans le sable de plage d'Anémone en 2007.

L'activité en ^{234}Th et ^{226}Ra est proche des valeurs des années précédentes ou de celles mesurées dans les sols et les sédiments. Un important fractionnement de la chaîne de l'uranium 238 est observé. Le résultat de mesure permet de mettre en évidence une discontinuité de la chaîne au niveau du radium 226 ; l'activité du ^{226}Ra est plus de 10 fois plus faible que celle du ^{234}Th. Cette discontinuité est également constatée dans les sols et les sédiments.
Le plomb 210 est d'origine tellurique. La limite de détection du ^{210}Pb est forte, elle est liée au détecteur utilisé pour la mesure.

Uranium 235

Le tableau I.16. regroupe le résultat obtenu cette année.

Plage Anémone 1	1,35 ± 0,39 Bq.kg^{-1} sec

Tableau I.16. : Radioactivité en uranium 235 dans le sable de plage d'Anémone en 2007.

L'activité mesurée est du même ordre de grandeur que les valeurs des années précédentes ou de celles des sols et des sédiments.
L'activité en ^{235}U est environ 20 fois plus faible que celle obtenue par le ^{234}Th. On peut en conclure qu'il y a un équilibre radioactif entre ^{238}U et son descendant ^{234}Th dans le sable puisque le rapport d'activité ^{238}U/^{235}U est de l'ordre de 20 pour l'uranium naturel.
Le tableau I.17. présente le rapport d'activité ^{234}Th/^{235}U calculé cette année.

Plage Anémone 1	17,85 ± 5,37

Tableau I.17. : Rapport d'activité ^{234}Th/^{235}U dans le sable de plage d'Anémone en 2007.

Famille naturelle du thorium 232

La radioactivité du sable d'Anémone en Actinium 228 (^{228}Ac), radionucléide émetteur γ faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th, est donnée dans le tableau I.18.

Plage Anémone 1	≤ 0,78 Bq.kg^{-1} sec

Tableau I.18. : Activité en ^{228}Ac dans le sable de plage d'Anémone en 2007.

Radioactivité d'origine artificielle

Cobalt 60, Antimoine 125, Césium 137 et Europium 155

Le tableau I.19. regroupe les résultats obtenus cette année. Ils sont inférieurs aux limites de détection (LD).

	Activité en Bq.kg^{-1} sec			
	^{60}Co	^{125}Sb	^{137}Cs	^{155}Eu
Plage Anémone 1	≤ 0,24	≤ 0,71	≤ 0,23	≤ 0,65

Tableau I.19. : Activité en ^{60}Co, ^{125}Sb, ^{137}Cs et ^{155}Eu dans le sable de plage d'Anémone en 2007.

Plutonium 238 et Plutonium 239 + Plutonium 240

Le tableau I.20. regroupe les résultats obtenus cette année ainsi que le rapport ^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu.

	Activité en Bq.kg^{-1} sec		Rapport ^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu
	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu	
Plage Anémone 1	3,07 ± 0,29	16,6 ± 1,4	0,18 ± 0,02

Tableau I.20. : Activité et rapport d'activité du plutonium dans le sable de plage d'Anémone en 2007.

Les valeurs en Plutonium sont beaucoup plus élevées que dans les sols d'Anémone. Elles sont du même ordre de grandeur que les valeurs des années précédentes et que celles trouvées dans les sédiments à Zanclus 25.

Américium 241

Le tableau I.21. donne l'activité en ^{241}Am dans le sable de plage d'Anémone.

Plage Anémone 1	≤ 2,10 Bq.kg^{-1} sec

Tableau I.21. : Activité en ^{241}Am dans le sable de plage d'Anémone en 2007.

La valeur en Américium est du même ordre de grandeur que celle des années antérieures, elle est plus faible que celle mesurée dans les sols d'Anémone et dans les sédiments du lagon prélevés à Zanclus 25.

Chapitre II
LA SURVEILLANCE DU MILIEU TERRESTRE

II.1. - LES SOLS

La surveillance des sols est réalisée à partir de l'analyse de prélèvements de sols effectués sur les motu des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

Les derniers prélèvements ont été effectués en 2003. À la demande de la C3S, les sols ont été prélevés en 2006. Les analyses ont été réalisées en 2007. Ce retard est lié au fait que cette année l'ensemble des analyses sur les sédiments des deux atolls a été réalisé en 2006. Les résultats des analyses 2007 et des années antérieures sont donnés en Annexe A.

II.2. - LA NOIX DE COCO

La noix de coco (*coco nucifera*) est le seul fruit consommable trouvé en abondance sur les atolls. Il est un aliment de base de l'alimentation polynésienne. L'eau de coco et le coprah (pulpe de coco) sont analysés.

Fangataufa et 3 zones à Mururoa faisaient l'objet d'un prélèvement de noix (à Mururoa en zone Nord, les cocotiers étaient absents). Il y a plusieurs années, nous avons planté des cocotiers en zone nord (Denise) et à partir de 2000, nous y avons effectué des prélèvements. Depuis 2004, le prélèvement en zone Nord n'avait pu être effectué, par manque de noix de coco. Cette année, un prélèvement uniquement de coprah a été réalisé dans cette zone.

II.2.1.- L'EAU DE COCO

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. La consommation journalière en eau de coco peut atteindre un litre et par personne sur les atolls.

Prélèvement des noix de coco.

Prélèvement de l'eau de coco

II.2.1.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Les noix de coco « vertes » sont cueillies sur l'arbre, puis coupées à leur partie supérieure afin d'en récolter leur eau. Il faut environ 10 litres d'eau de coco pour effectuer les mesures.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radionucléides émetteurs alpha et béta présents dans les cendres des échantillons.

II.2.1.2. – LA RADIOACTIVITE DANS L'EAU DE COCO

Le tableau II.1. et la figure II.1. regroupent l'ensemble des résultats des analyses effectuées sur l'eau de coco.

Lieux	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu
Mururoa Est	27.03.07	54,5 ± 1,8	0,006 ± 0,002	≤ 0,014	≤ 0,012	≤ 0,00008	≤ 0,00013
Mururoa Sud	30.03.07	53,0 ± 3,0	0,034 ± 0,003	≤ 0,015	≤ 0,014	≤ 0,00070	≤ 0,00030
Mururoa Ouest	04.04.07	74,8 ± 4,0	0,005 ± 0,002	≤ 0,011	≤ 0,015	≤ 0,00022	≤ 0,00017
Fangataufa	15.04.07	60,4 ± 2,9	0,121 ± 0,014	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,00012	≤ 0,00013

Tableau II.1. – Activité de l'eau de coco (Bq.kg^{-1}) en 2007.

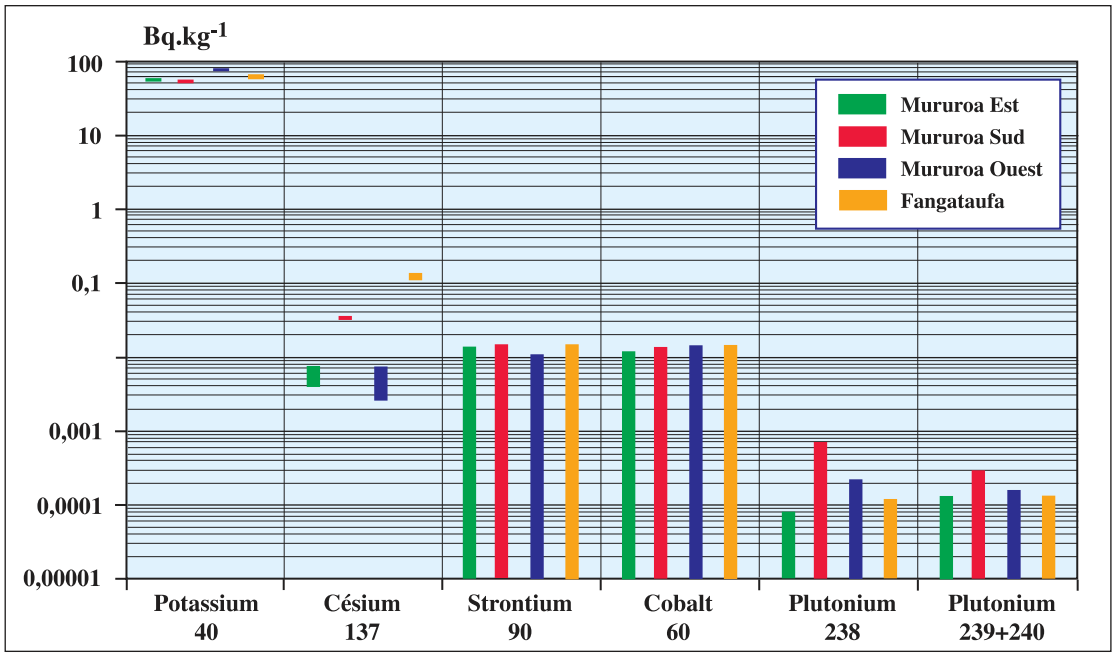


Figure II.1. – Activité de l'eau de coco en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Seul le potassium 40 est systématiquement mesuré dans ces échantillons. Il faut noter que la radioactivité massique en potassium 40 fluctue de façon importante suivant le stade de maturité du fruit et de son hydratation.

La valeur moyenne en potassium 40 dans l'eau de coco, calculée sur 134 échantillons prélevés depuis 1986 à Mururoa et Fangataufa, est de 55,2 ± 2,6 $Bq.kg^{-1}$.

La figure II.2. récapitule l'ensemble des résultats de mesure du ^{40}K dans l'eau de coco depuis 1986. Les valeurs de 2007 qui varient entre 53 et 75 $Bq.kg^{-1}$ sont comprises dans l'intervalle de probabilité 99,7 % [9,9; 101] $Bq.kg^{-1}$ qui traduit la dispersion des valeurs.

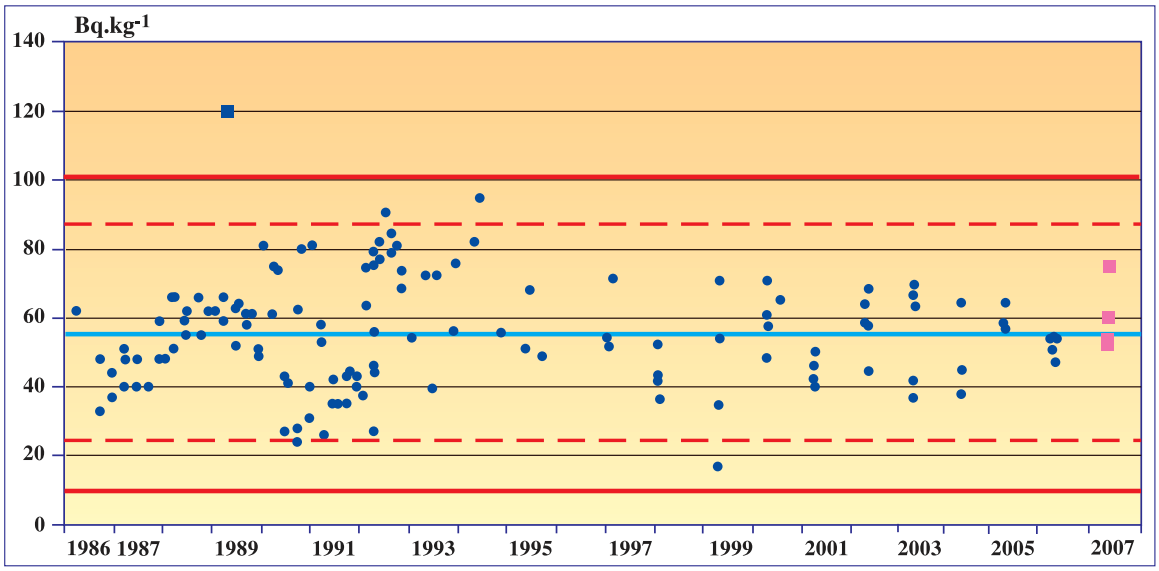


Figure II.2. - Activité du potassium 40 dans l'eau de coco depuis 1986.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137

La figure II.3. présente l'évolution de l'activité en césium 137, mesurée dans l'eau de coco depuis 1986 et permet de mettre en évidence une période apparente de 5,85 ± 1,89 ans, alors que la période radioactive du césium 137 est de 30,15 ans.

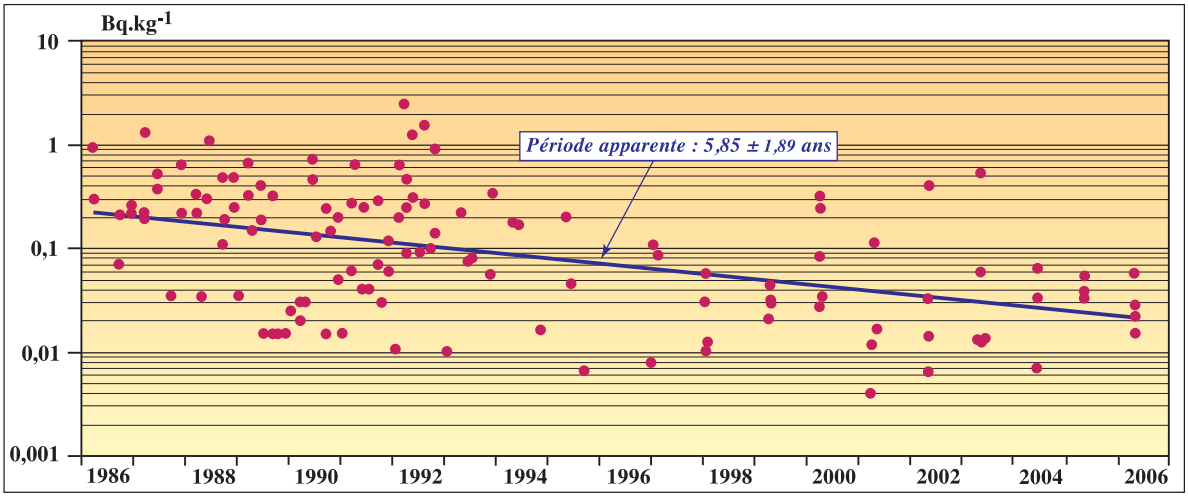


Figure II.3. - Évolution de l'activité du césium 137 dans l'eau de coco depuis 1986.

À l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 132 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure II.4. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,02 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,0004 ; 0,81] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2007 qui varient entre 0,005 et 0,121 Bq.kg^{-1} sont comprises dans l'intervalle de probabilité (p = 99,7 %).

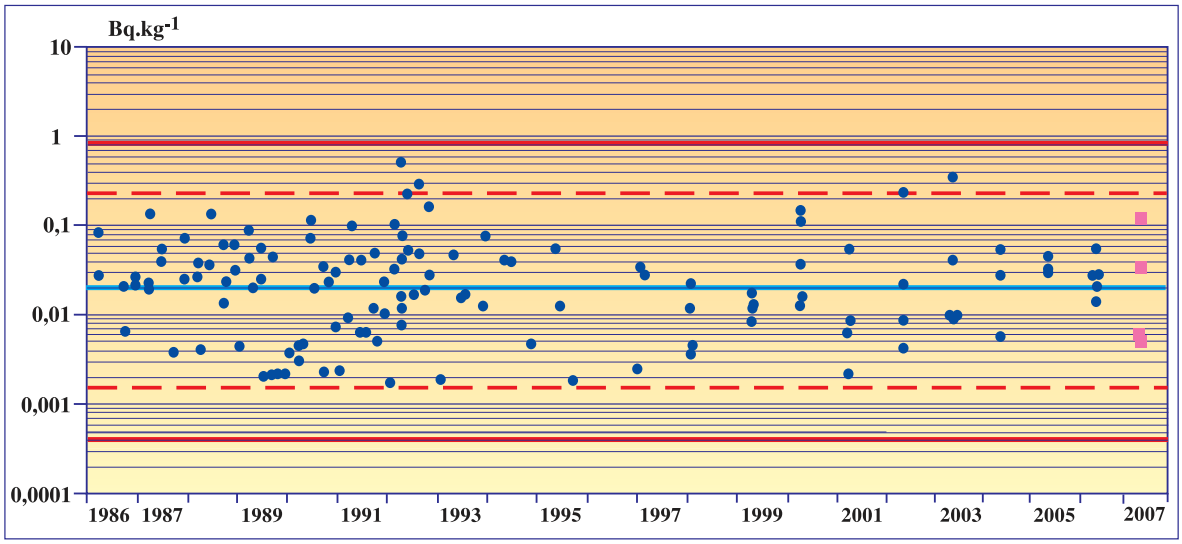


Figure II.4. - Activité du césium 137 dans l'eau de coco depuis 1986.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Cobalt 60, strontium 90, plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240

Dans l'eau de coco, les activités mesurées en cobalt 60, strontium 90, plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240 sont restées, comme les années précédentes, inférieures aux limites de détection des appareils de mesure.

II.2.2. - LE COPRAH OU PULPE DE NOIX DE COCO

Le coprah 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. Par ailleurs, l'industrie en extrait une huile à destinée alimentaire ou chimique. Le tourteau, coprah broyé, est utilisé dans l'alimentation du bétail.

II.2.2.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

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. Il faut 4 kg de coprah pour effectuer les mesures.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des opérations d'extraction chimique sont nécessaires pour mesurer les radionucléides émetteurs alpha et béta contenus dans les cendres des échantillons.

Prélèvement de la pulpe blanche (coprah) de la noix de " coco opaa "

II.2.2.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LE COPRAH

Le tableau II.2. et la figure II.5. regroupent l'ensemble des résultats des analyses effectuées sur le coprah.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{238}Pu	$^{239}Pu + ^{240}Pu$
Mururoa Est	27.03.07	101 ± 5	0,125 ± 0,025	≤ 0,032	≤ 0,030	≤ 0,00039	≤ 0,00046
Mururoa Sud	30.03.07	114 ± 6	0,344 ± 0,027	≤ 0,032	≤ 0,030	≤ 0,00057	≤ 0,00049
Mururoa Ouest	04.04.07	158 ± 6	0,063 ± 0,011	≤ 0,033	≤ 0,063	≤ 0,00044	≤ 0,00046
Mururoa Nord	01.04.07	174 ± 9	0,102 ± 0,029	≤ 0,035	≤ 0,046	≤ 0,00053	≤ 0,00057
Fangataufa	15.04.07	127 ± 4	0,405 ± 0,040	≤ 0,020	≤ 0,043	≤ 0,00035	≤ 0,00065

Tableau II.2. – Activité du coprah ($Bq.kg^{-1}$) en 2007.

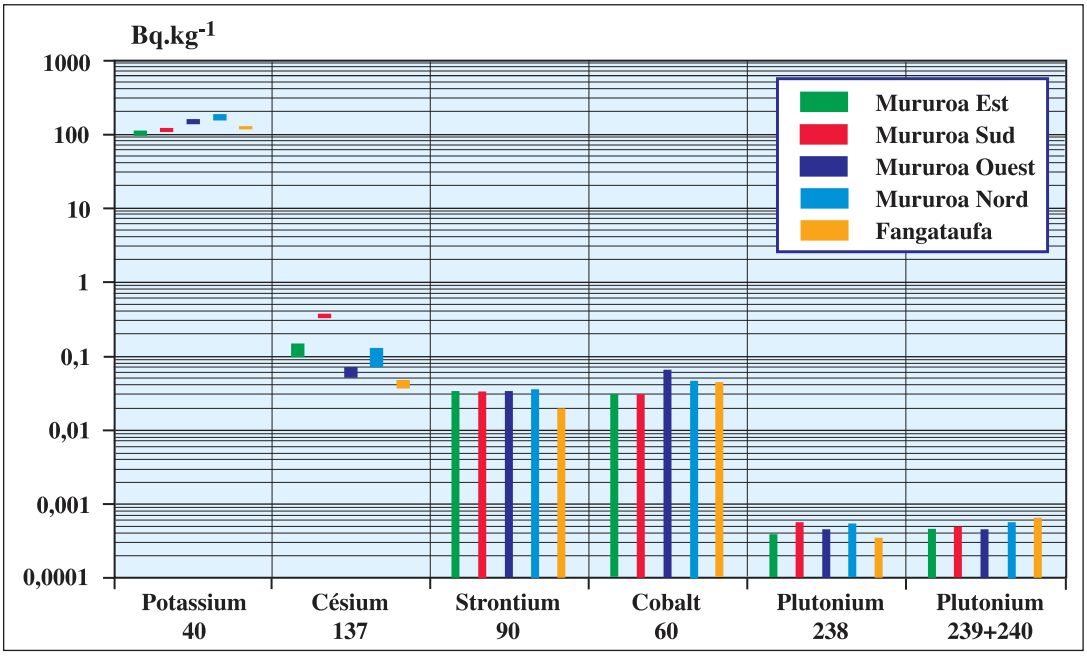


Figure II.5. – Activité du coprah en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Seul le potassium 40 est systématiquement mesuré dans ces échantillons. La valeur de l'activité massique en potassium 40 fluctue de façon importante suivant le stade de maturité du fruit et de son hydratation. La valeur moyenne en potassium 40 dans le coprah est de 116 ± 3 Bq.kg^{-1} calculée sur 128 échantillons prélevés depuis 1986 à Mururoa et Fangataufa.

À L'exception de la valeur de Mururoa Nord qui est plus élevée, les autres valeurs de 2007 qui varient entre 96 et 153 Bq.kg^{-1} sont comprises dans l'intervalle de probabilité 99,7 % [71 ; 161] Bq.kg^{-1} qui traduit la dispersion des résultats.

La figure II.6. présente l'évolution du potassium 40 dans les échantillons de coprah prélevés à Mururoa et Fangataufa depuis 1986.

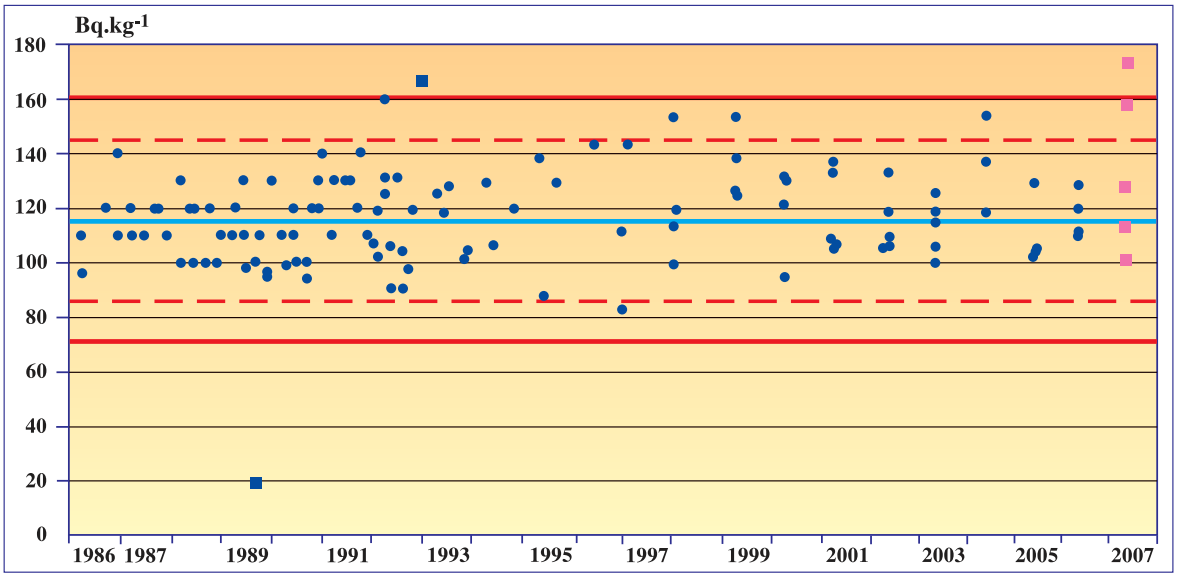


Figure II.6. - Activité du potassium 40 dans le coprah depuis 1986.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137

La figure II.7. présente l'évolution de l'activité du césium 137 dans le coprah à Mururoa et à Fangataufa depuis 1986. Elle permet de mettre en évidence une période apparente de 10 ± 5,2 ans.

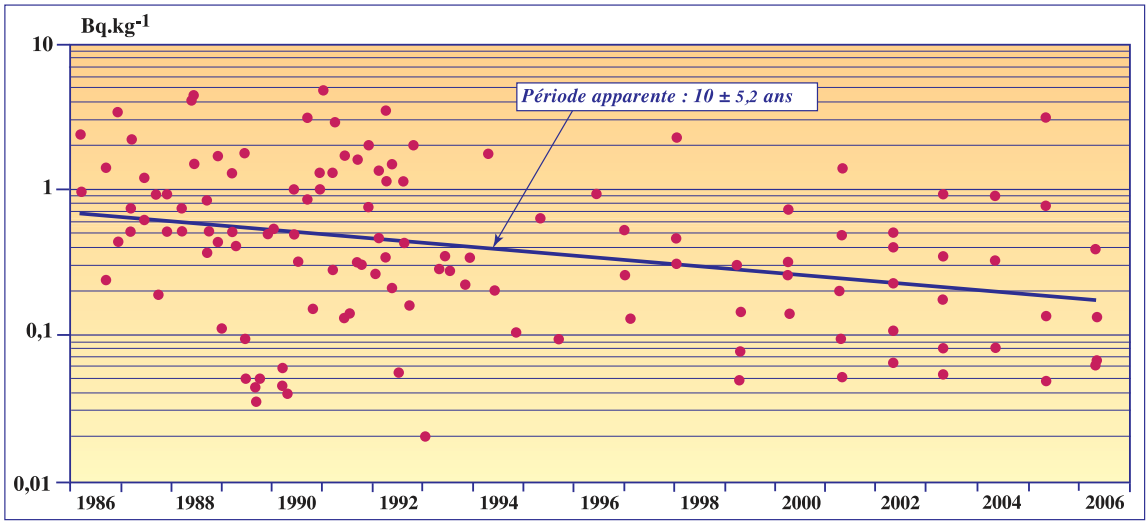


Figure II.7. – Evolution de l'activité du césium 137 dans le coprah depuis 1986.

À l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 127 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure II.8. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,15 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,004 ; 5,4] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2007 qui varient entre 0,06 et 0,41 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle de probabilité.

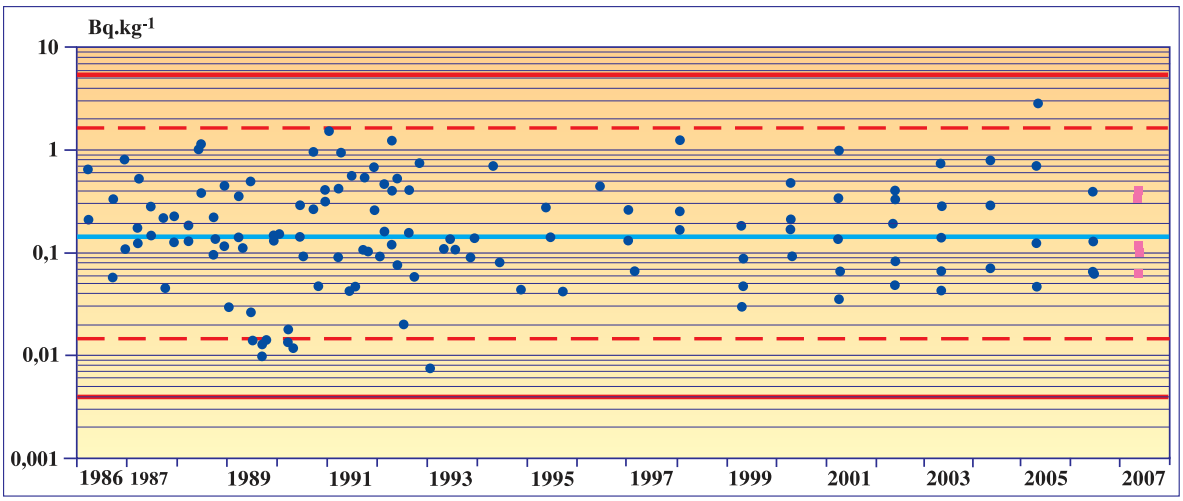


Figure II.8. - Activité du césium 137 dans le coprah depuis 1986.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Cobalt 60, strontium 90, plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240

Les activités dans le coprah des cobalt 60, strontium 90, plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240 sont restées, comme les années précédentes, inférieures ou proches de la limite de détection des appareils de mesure (voir tableau Préambule page 12).

Chapitre III
LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES

III.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

La surveillance de la radioactivité des eaux souterraines de Mururoa et de Fangataufa est assurée en effectuant tous les ans des prélèvements d'eau dans 16 observatoires à Mururoa et dans 4 à Fangataufa (figures III.1 et III.2).

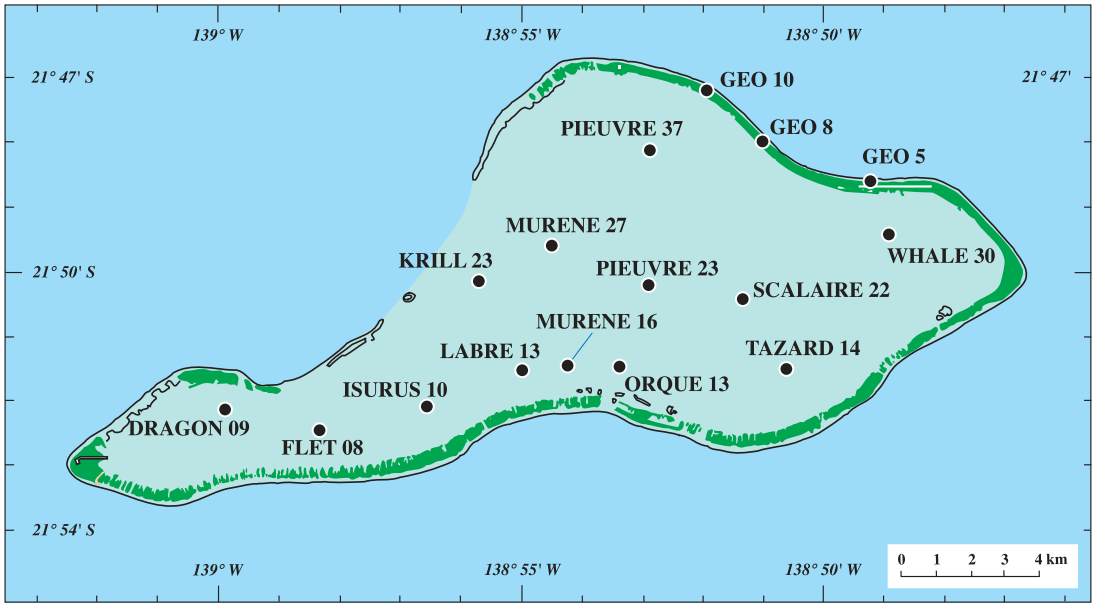


Figure III.1. : Points de prélèvement des eaux souterraines à Mururoa.

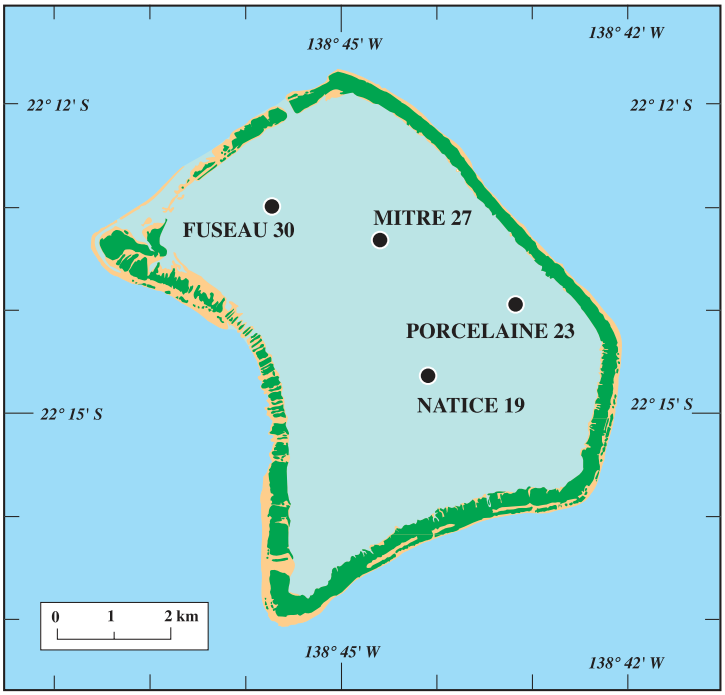


Figure III.2. : Points de prélèvement des eaux souterraines à Fangataufa.

Ces observatoires sont des puits qui ont été, à l'arrêt des expérimentations, équipés de polytubes dont chaque tube élémentaire débouche dans le terrain à une profondeur prédéterminée (figure III.3). Les profondeurs de prélèvement ont été choisies de manière à surveiller les horizons karstiques des couvertures carbonatées des deux atolls.

Les prélèvements sont effectués par pompage dans chaque tube élémentaire. À chaque cote, le prélèvement est constitué de 10 litres d'eau destinés aux mesures des strontium 90, césium 137 et plutonium (aux cotes prévues) et de 2 x 50 millilitres réservé à l'analyse de l'eau tritiée par scintillation liquide.

Les activités attendues en plutonium sont de plusieurs décades inférieures à celles du césium 137, strontium 90 ou d'eau tritiée (HTO).

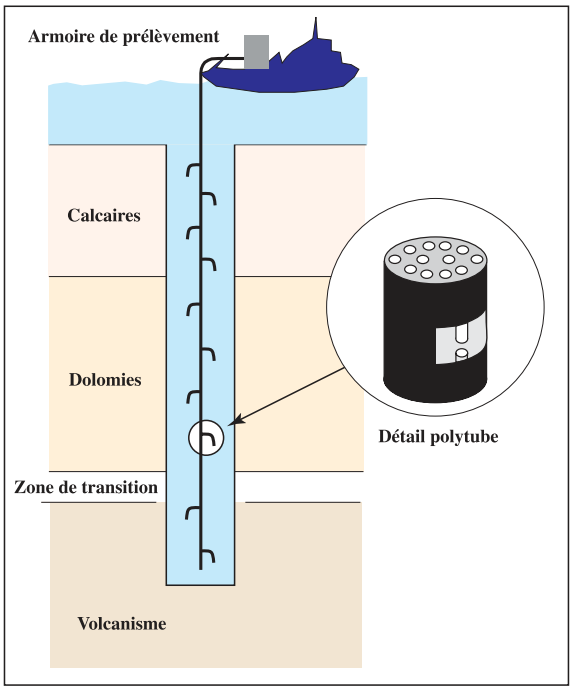


Figure III.3. : Principe de prélèvement des eaux souterraines dans le lagon.

Armoire de prélèvement lors d'un prélèvement d'eaux souterraines dans le lagon de Mururoa.

Les observatoires ont été regroupés par zone de surveillance des maxima de concentration en HTO mis en évidence par la carte présentée en figure III.20.

Les caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines effectués sont données dans les tableaux III.1. à III.5.

Observatoire	Profondeur (m)	Date de prélèvement
GEO 5B	100-102	23.03.2007
	149-151	
	185-187	
	215-217	
	228-230	
	264-266	
GEO 8B	107-110	24.03.2007
	158-168	
	209-211-212	
	274-276-278	
	307-316	
GEO 10B	140-144	26.03.2007
	164-167-169	
	228-231-233	
	282-284	
	307-311	
PIEUVRE 37	95	07.04.2007
	107	
	260	
	285	
	300	
MURENE 27	100	04.04.2007
WHALE 30	207	12.04.2007
	280	
	290	
	330	

Tableau III.1. : Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines en zone Nord de Mururoa en 2007.

Observatoire	Profondeur (m)	Date de prélèvement
TAZARD 14	193	31.03.2007
	245	
	290	
SCALAIRE 22	100	06.04.2007
	135	
	192	
	245	
PIEUVRE 23	100	09.04.2007
	145	
	175	

Tableau III.2. : Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines en zone Est de Mururoa en 2007.

Observatoire	Profondeur (m)	Date de prélèvement
ORQUE 13	99	03.04.2007
	143	
	178	
LABRE 13	145	04.04.2007
	190	
	225	
MURENE 16	100	03.04.2007
	185	
	230	
	285	

Tableau III.3. : Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines en zone Sud de Mururoa en 2007.

Observatoire	Profondeur (m)	Date de prélèvement
KRILL 23	181	30.03.2007
	193	
	220	
	310	
	330	
	345	
ISURUS 10	260	02.04.2007
	265	
	275	
	315	
	330	
	345	
FLET 08	100	05.04.2007
	135	
	193	
	280	
DRAGON 09	162	05.04.2007
	205	
	258	

Tableau III.4. : Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines en zone Ouest de Mururoa en 2007.

Observatoire	Profondeur (m)	Date de prélèvement
NATICE 19	200	16.04.2007
	235	
	320	
	340	
FUSEAU 30	193	17.04.2007
	215	
	255	
	268	
MITRE 27	233-235	17.04.2007
	237-239	
PORCELAINE 23	203	18.04.2007
	257	
	270	

Tableau III.5. : Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines de Fangataufa en 2007.

III.2. – LES RESULTATS

Afin de mieux visualiser l'évolution de la radioactivité des eaux souterraines, nous présenterons dorénavant, puits par puits, cote par cote, la radioactivité en HTO aux différentes dates de prélèvement depuis 1997.

Les rapports HTO/^{90}Sr et HTO/^{137}Cs étant relativement stables, les évolutions en strontium 90 et césium 137 ne sont pas présentées.

Pour faciliter la lecture de ces courbes, les barres d'incertitude ne sont pas représentées.
Lorsqu'une valeur est inférieure à la limite de détection, le point est matérialisé sur la figure par un cercle vide positionné au seuil de détection et la courbe d'évolution n'est pas tracée de part et d'autre de ce point.

En 1998 et 1999, un certain nombre d'analyses sur les eaux souterraines n'avait pas pu être exécuté pour des raisons techniques de conditionnement.

III.2.1. – L'atoll de MURUROA

Zone Nord

Le tableau III.6. regroupe les résultats des analyses effectuées sur les eaux souterraines de la zone Nord.

Les activités mesurées dans les eaux des observatoires de la zone Nord sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 1997 lors de la campagne de mesures effectuée par l'AIEA à l'exception de GEO 5B.

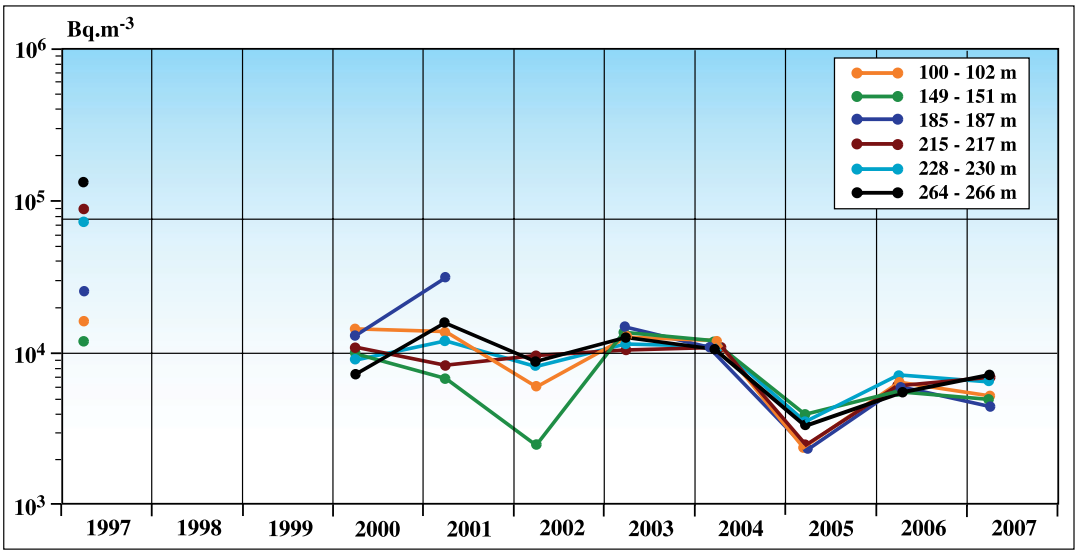
Cette zone est caractérisée par des rapports HTO/^{90}Sr et HTO/^{137}Cs, de l'ordre de 10^3.

Observatoire	Profondeur (m)	HTO ($Bq.m^{-3}$)	Strontium 90 ($Bq.m^{-3}$)	Césium 137 ($Bq.m^{-3}$)	Rapport HTO/Sr	Rapport HTO/Cs
GEO 5B	100 - 102	$(5,3 \pm 0,5).10^3$	$3,3 \pm 0,8$	$4,1 \pm 0,8$	$(1,6 \pm 0,4).10^3$	$(1,3 \pm 0,3).10^3$
	149 - 151	$(5,0 \pm 0,5).10^3$	$3,7 \pm 0,8$	$2,8 \pm 0,8$	$(1,4 \pm 0,3).10^3$	$(1,8 \pm 0,5).10^3$
	185 - 187	$(4,6 \pm 0,5).10^3$	$3,2 \pm 0,7$	$3,9 \pm 0,8$	$(1,4 \pm 0,3).10^3$	$(1,2 \pm 0,3).10^3$
	215 - 217	$(7,0 \pm 0,6).10^3$	$6,4 \pm 0,9$	$5,3 \pm 3,5$	$(1,1 \pm 0,2).10^3$	$(1,3 \pm 0,9).10^3$
	228 - 230	$(6,7 \pm 0,6).10^3$	$7,0 \pm 1,0$	$4,7 \pm 3,3$	$(9,6 \pm 1,6).10^2$	$(1,4 \pm 1,0).10^3$
	264 - 266	$(7,1 \pm 0,6).10^3$	$6,5 \pm 1,1$	$7,3 \pm 1,2$	$(1,1 \pm 0,2).10^2$	$(9,7 \pm 1,8).10^2$
GEO 8B	107 - 110	$(1,6 \pm 0,1).10^5$	$(3,0 \pm 0,4).10^2$	$(9,0 \pm 3,5).10^1$	$(5,5 \pm 0,8).10^2$	$(1,8 \pm 0,7).10^3$
	158 - 168	$(2,0 \pm 0,1).10^5$	$(2,9 \pm 0,4).10^2$	$(1,3 \pm 0,2).10^2$	$(6,9 \pm 1,0).10^2$	$(1,6 \pm 0,2).10^3$
	209 - 212	$(2,5 \pm 0,1).10^5$	$(4,1 \pm 0,6).10^2$	$(1,7 \pm 0,4).10^2$	$(6,2 \pm 0,9).10^2$	$(1,5 \pm 0,4).10^3$
	274 - 278	$(3,3 \pm 0,2).10^5$	$(4,8 \pm 0,6).10^2$	$(1,9 \pm 0,3).10^2$	$(6,7 \pm 0,8).10^2$	$(1,7 \pm 0,3).10^3$
	307	non prélevé	non prélevé	non prélevé	non prélevé	non prélevé
GEO 10B	140 - 144	$(3,0 \pm 0,2).10^6$	$(5,4 \pm 0,7).10^3$	$(2,6 \pm 0,3).10^3$	$(5,5 \pm 0,7).10^2$	$(1,1 \pm 0,1).10^3$
	164 - 169	$(4,6 \pm 0,3).10^6$	$(8,8 \pm 1,1).10^3$	$(7,2 \pm 0,5).10^3$	$(5,3 \pm 0,7).10^2$	$(6,4 \pm 0,5).10^2$
	238 - 233	$(4,5 \pm 0,2).10^6$	$(9,2 \pm 1,1).10^3$	$(7,3 \pm 0,3).10^3$	$(4,9 \pm 0,6).10^2$	$(6,2 \pm 0,4).10^2$
	282 - 284	$(5,4 \pm 0,3).10^6$	$(1,1 \pm 0,1).10^4$	$(8,3 \pm 0,5).10^3$	$(4,9 \pm 0,6).10^2$	$(6,5 \pm 0,5).10^2$
	307 - 311	$(6,9 \pm 0,4).10^6$	$(1,4 \pm 0,2).10^4$	$(1,3 \pm 0,1).10^4$	$(4,9 \pm 0,7).10^2$	$(5,4 \pm 0,4).10^2$
PIEUVRE 37	95	$\leq 9,0.10^2$	$\leq 1,5$	$\leq 2,6$	non calculé	non calculé
	107	$\leq 9,0.10^2$	$\leq 1,1$	$\leq 2,5$		
	260	$(4,7 \pm 0,3).10^6$	$(6,0 \pm 0,8).10^3$	$(4,8 \pm 0,2).10^3$	$(7,8 \pm 1,1).10^2$	$(9,8 \pm 0,7).10^2$
	285	$(6,2 \pm 0,3).10^6$	$(6,8 \pm 0,9).10^3$	$(6,1 \pm 0,4).10^3$	$(9,1 \pm 1,3).10^2$	$(1,0 \pm 0,1).10^3$
	300 ✻	$(6,3 \pm 0,3).10^6$	$(1,1 \pm 0,4).10^3$	$(6,8 \pm 0,4).10^3$	$(5,6 \pm 1,9).10^3$	$(9,3 \pm 0,7).10^2$
MURENE 27	100	$\leq 9,0.10^2$	$\leq 1,2$	$\leq 2,6$	non calculé	non calculé
WHALE 30	207	$\leq 1,0.10^3$	$\leq 3,5$	$\leq 3,0$	non calculé	non calculé
	280	$\leq 9,0.10^2$		$\leq 2,8$		
	290	$\leq 1,0.10^3$		$0,9 \pm 0,7$		
	330	$\leq 1,0.10^3$		$\leq 3,1$		

✻ : Pieuvre 37 profondeur 300 m : ^{238}Pu : ≤ 0,20 $Bq.m^{-3}$ et $^{239}Pu + ^{240}Pu$: ≤ 0,22 $Bq.m^{-3}$.

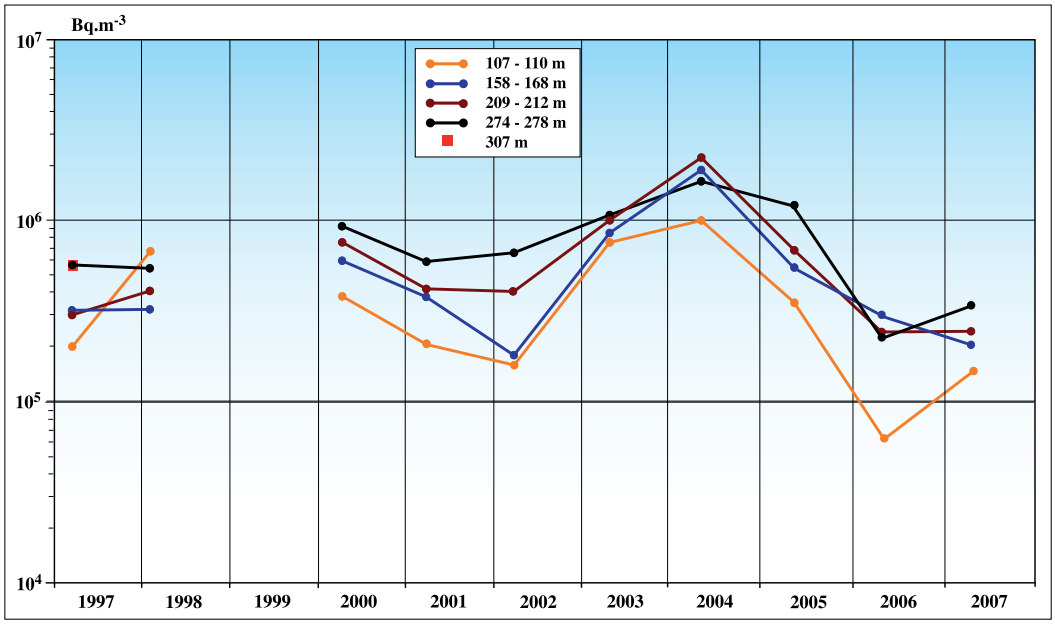
Tableau III.6. : Activité des eaux souterraines de la zone Nord de Mururoa en 2007.

Les figures III.4. à III.9. présentent l'évolution de la radioactivité dans les eaux souterraines des observatoires de la zone Nord de Mururoa depuis 1997.



En 2002, il n'y a pas eu de prélèvement à 185 - 187 m..

Figure III.4. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de GEO 5B depuis 1997.



Depuis 1998, la cote 307 m est bouché.

Figure III.5. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de GEO 8B depuis 1997.

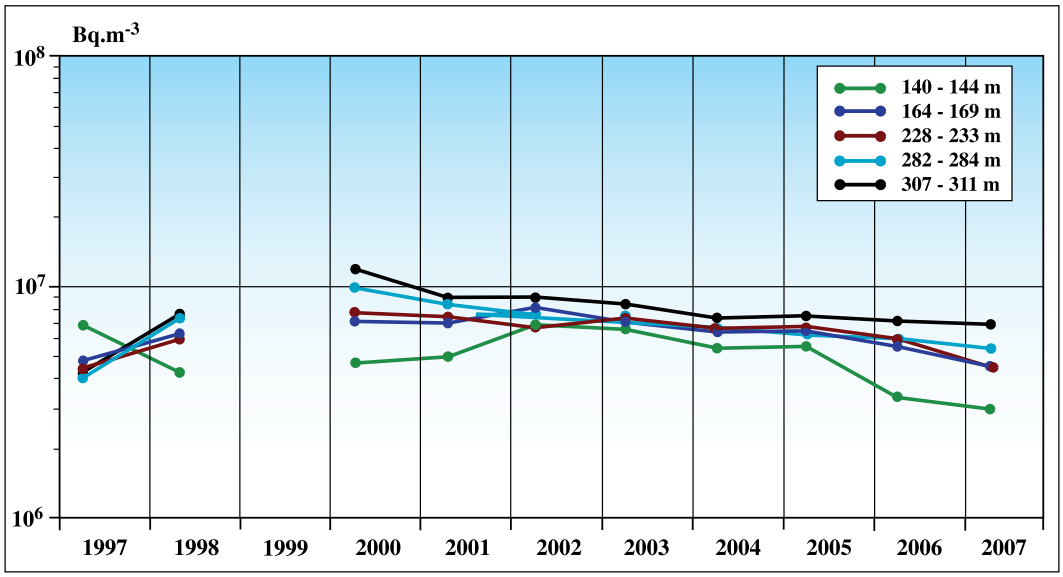
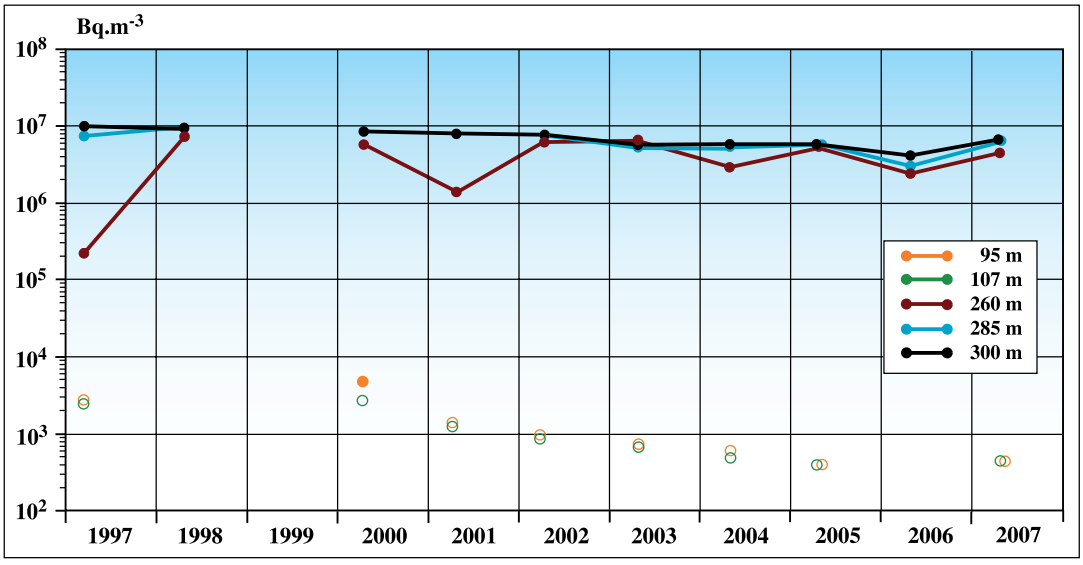


Figure III.6. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de GEO 10B depuis 1997.



Entre 1998 et 2002, les courbes 285 m et 300 m sont confondues.
En 1997 et entre 2001 et 2006, les courbes 95 m et 107 m sont confondues.

Figure III.7. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de PIEUVRE 37 depuis 1997.

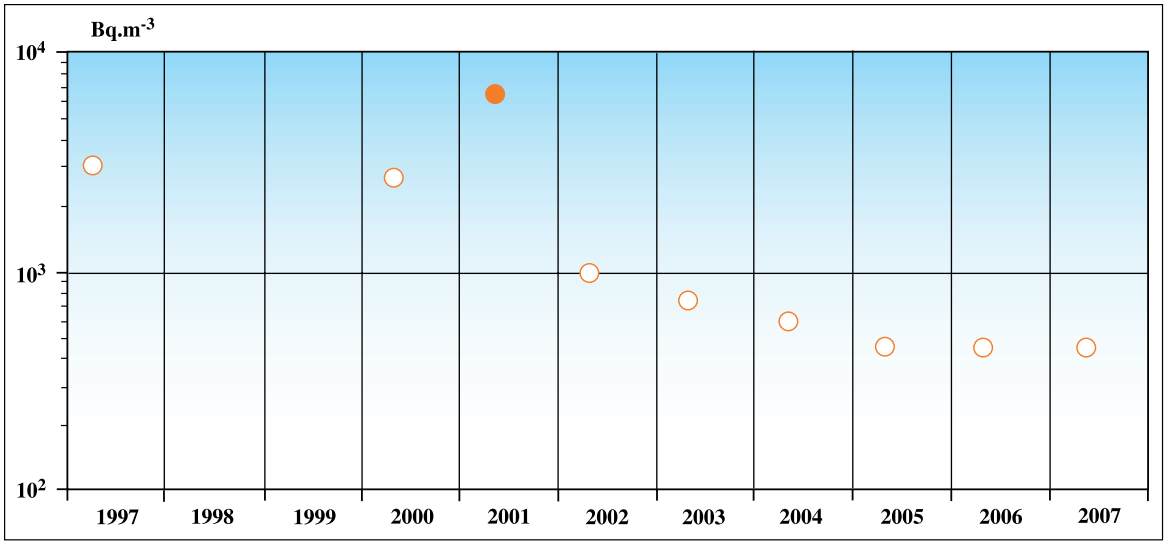
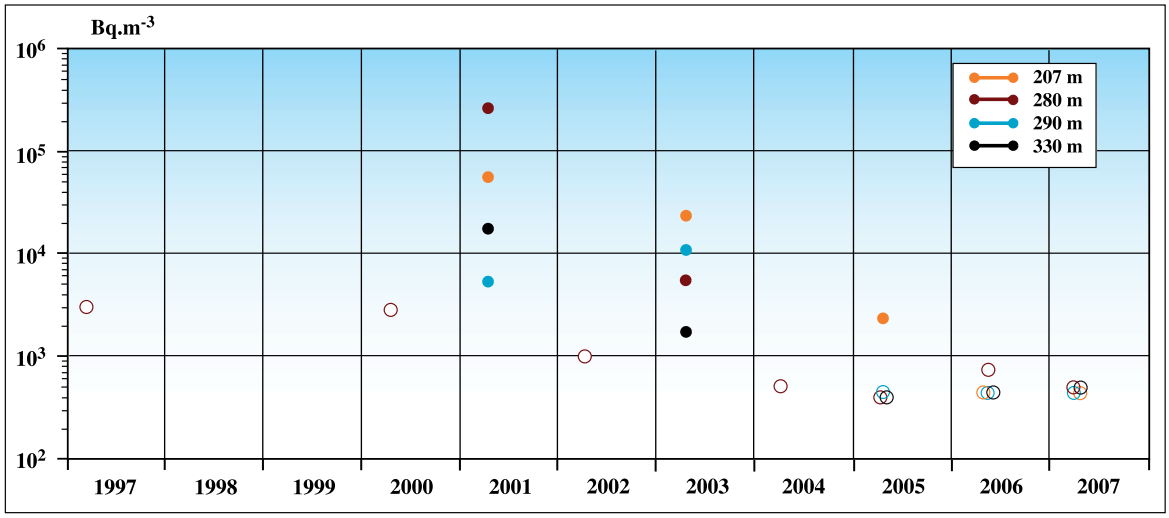


Figure III.8. : Evolution de la radioactivité HTO à la seule cote (100 m) de MURENE 27 depuis 1997.



Les points des différentes profondeurs sont confondus en 1997, 2000, 2002 et 2004.

Figure III.9. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de WHALE 30 depuis 1997.

Zone Est

Le tableau III.7. regroupe les résultats des analyses effectuées sur les eaux souterraines de la zone Est.

Les activités mesurées dans les eaux des observatoires de la zone Est sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 1997 lors de la campagne de mesures effectuée par l'AIEA. Cette zone centrée sur l'observatoire Tazard 14 est caractérisée par des rapports HTO/^{90}Sr et HTO/^{137}Cs, de l'ordre de 10^5. L'observatoire Scalaire 22 présente des valeurs des rapports HTO/^{90}Sr et HTO/^{137}Cs proches de celles de la zone Nord.

Observatoire	Profondeur (m)	HTO ($Bq.m^{-3}$)	Strontium 90 ($Bq.m^{-3}$)	Césium 137 ($Bq.m^{-3}$)	Rapport HTO/Sr	Rapport HTO/Cs
TAZARD 14	193	$(1,4 \pm 0,1).10^6$	$6,6 \pm 0,7$	$6,7 \pm 1,1$	$(2,1 \pm 0,2).10^5$	$(2,0 \pm 0,3).10^5$
	245	$(2,5 \pm 0,1).10^6$	$(3,5 \pm 0,5).10^1$	$(1,5 \pm 0,4).10^1$	$(7,1 \pm 1,0).10^4$	$(1,7 \pm 0,4).10^5$
	290 ✻	$(2,4 \pm 0,1).10^6$	$\leq 1,4$	$(1,3 \pm 0,2).10^1$	non calculé	$(1,9 \pm 0,3).10^5$
SCALAIRE 22	100	$(2,0 \pm 0,2).10^4$	$(3,7 \pm 0,5).10^1$	$(3,0 \pm 0,4).10^1$	$(5,5 \pm 0,9).10^2$	$(6,7 \pm 1,1).10^2$
	135	$(1,9 \pm 0,2).10^4$	$(3,3 \pm 0,5).10^1$	$(3,5 \pm 0,5).10^1$	$(5,9 \pm 0,9).10^2$	$(5,5 \pm 0,9).10^2$
	192	$(2,1 \pm 0,2).10^4$	$(3,4 \pm 0,5).10^1$	$(3,2 \pm 0,3).10^1$	$(6,2 \pm 1,0).10^2$	$(6,6 \pm 0,8).10^2$
	245	$(2,1 \pm 0,2).10^4$	$(5,0 \pm 0,7).10^1$	$(1,2 \pm 0,1).10^1$	$(4,2 \pm 0,7).10^2$	$(1,7 \pm 0,2).10^3$
PIEUVRE 23	100	$(4,6 \pm 0,3).10^4$	$0,8 \pm 0,3$	$\leq 2,8$	$(5,7 \pm 2,2).10^4$	non calculé
	145	$(4,6 \pm 0,3).10^4$	$\leq 2,1$	$1,3 \pm 0,6$	non calculé	$(3,7 \pm 1,9).10^4$
	175	$(4,5 \pm 0,3).10^4$	$0,9 \pm 0,4$	$\leq 3,2$	$(5,2 \pm 2,1).10^4$	non calculé

✻ : Tazard 14 profondeur 290 m : $^{238}Pu : \leq 0,022\ Bq.m^{-3}$ et $^{239}Pu + {}^{240}Pu : \leq 0,030\ Bq.m^{-3}$.

Tableau III.7. : Activité des eaux souterraines de la zone Est de Mururoa en 2007.

Les figures III.10. à III.12. présentent l'évolution de la radioactivité dans les eaux souterraines des observatoires de la zone Est de Mururoa depuis 1997.

À Tazard 14, les courbes 245 m et 290 m sont confondues entre 1998 et 2002.

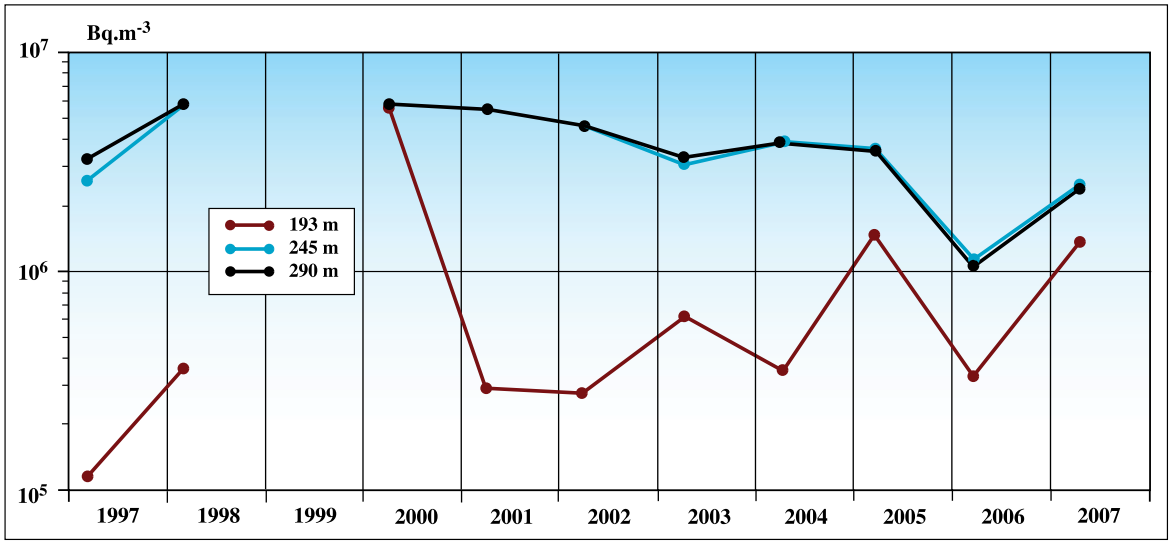


Figure III.10. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de TAZARD 14 depuis 1997.

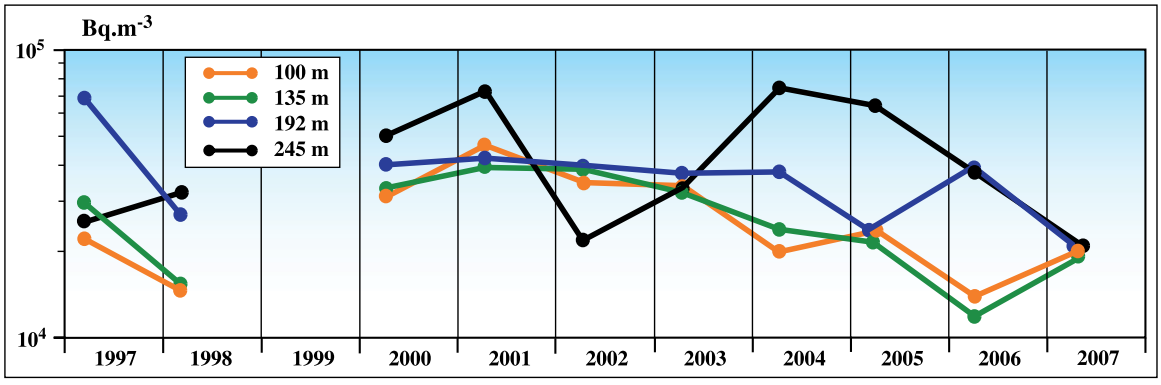
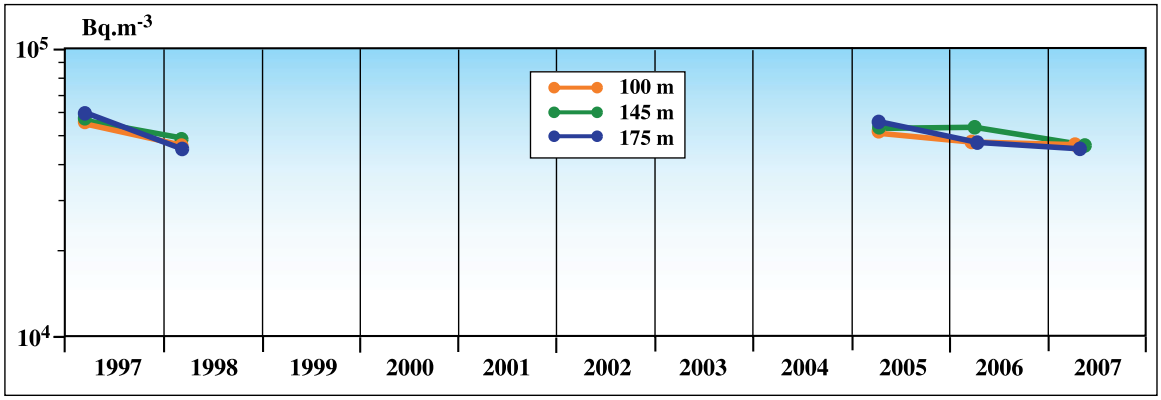


Figure III.11. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de SCALAIRE 22 depuis 1997.



Entre 1999 et 2004, le polytube était tombé au fond du lagon, il a été récupéré en septembre 2004.

Figure III.12. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de PIEUVRE 23 depuis 1997.

Les valeurs de 2007 sont du même ordre de grandeur que celles de 1997 et 1998 et des années antérieures.

Zone Sud

Le tableau III.8. regroupe les résultats des analyses effectuées sur les eaux souterraines de la zone Sud. Les activités mesurées dans les eaux des observatoires de la zone Sud sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 1997 lors de la campagne de mesures réalisée par l'AIEA.

Observatoire	Profondeur (m)	HTO ($Bq.m^{-3}$)	Strontium 90 ($Bq.m^{-3}$)	Césium 137 ($Bq.m^{-3}$)	Rapport HTO/Sr	Rapport HTO/Cs
ORQUE 13	99	$(9,7 \pm 0,5).10^4$	$1,4 \pm 0,5$	$\leq 2,3$	$(6,9 \pm 2,5).10^4$	non calculé
	143	$(9,9 \pm 0,6).10^4$	$1,8 \pm 0,6$	$\leq 3,2$	$(5,5 \pm 1,8).10^4$	
	178	$(9,4 \pm 0,5).10^4$	$1,8 \pm 0,6$	$\leq 3,1$	$(5,3 \pm 1,7).10^4$	
LABRE 13	145	$\leq 1,0.10^3$	$1,4 \pm 0,4$	$\leq 2,5$	non calculé	non calculé
	190	$\leq 1,0.10^3$				
	225	$\leq 1,0.10^3$				
MURENE 16	100	$(1,8 \pm 0,1).10^6$	$9,4 \pm 0,9$	$\leq 2,6$	$(1,9 \pm 0,2).10^5$	non calculé
	185	$(2,7 \pm 0,1).10^6$	$(4,5 \pm 0,6).10^2$	$\leq 2,7$	$(6,0 \pm 0,9).10^3$	
	230 ✻	$(3,1 \pm 0,2).10^6$	$\leq 0,8$	$\leq 3,6$	non calculé	
	285	$(3,1 \pm 0,2).10^6$	$(4,8 \pm 0,8).10^1$	$\leq 3,0$	$(6,5 \pm 1,1).10^4$	

✻ : MURENE 16 profondeur 230 m : ^{238}Pu : $\leq 0,06$ $Bq.m^{-3}$ et $^{239}Pu + ^{240}Pu$: $\leq 0,04$ $Bq.m^{-3}$.

Tableau III.8. : Activité des eaux souterraines de la zone sud de Mururoa en 2007.

Les figures III.13. et III.15. présentent l'évolution de la radioactivité dans les eaux souterraines des observatoires de la zone Sud de Mururoa depuis 1997.

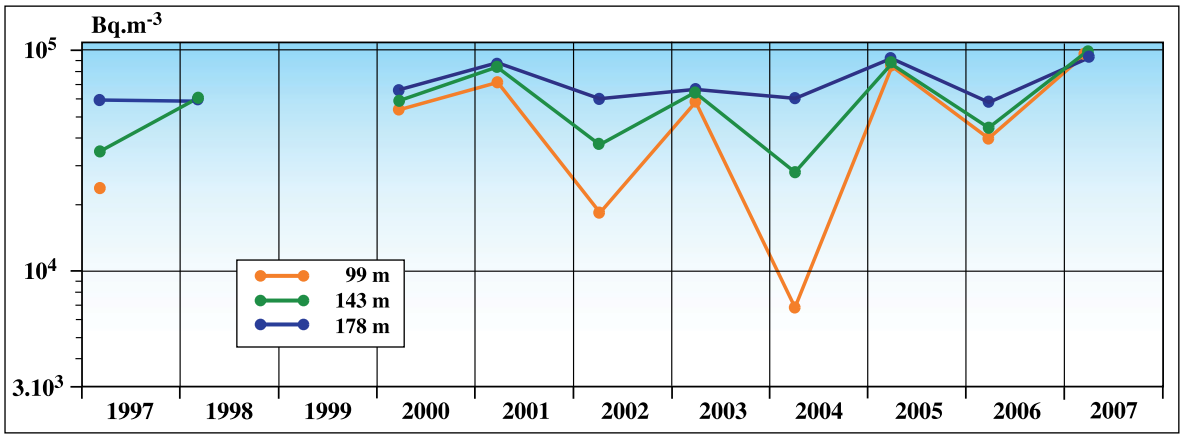
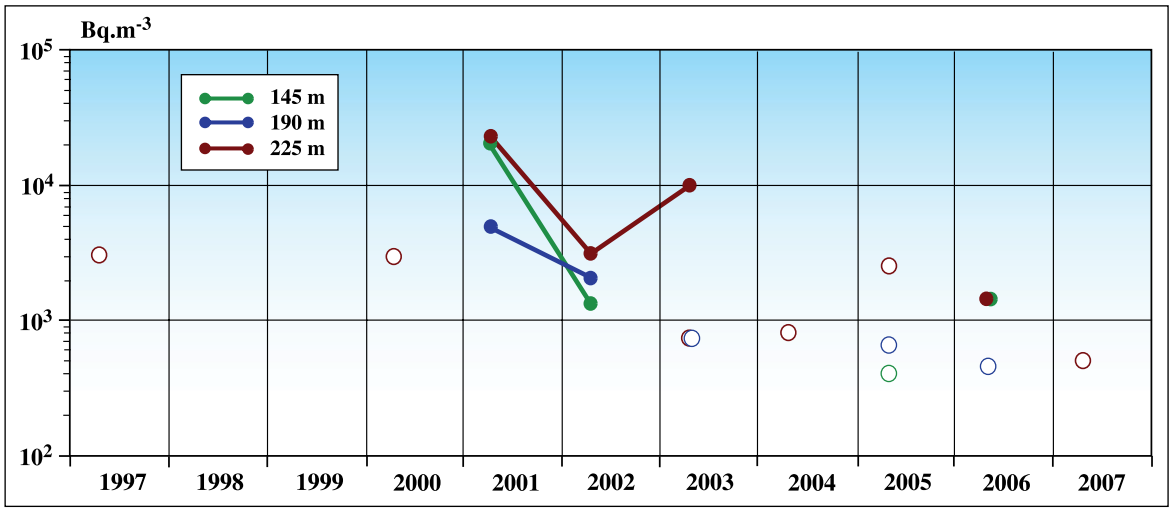
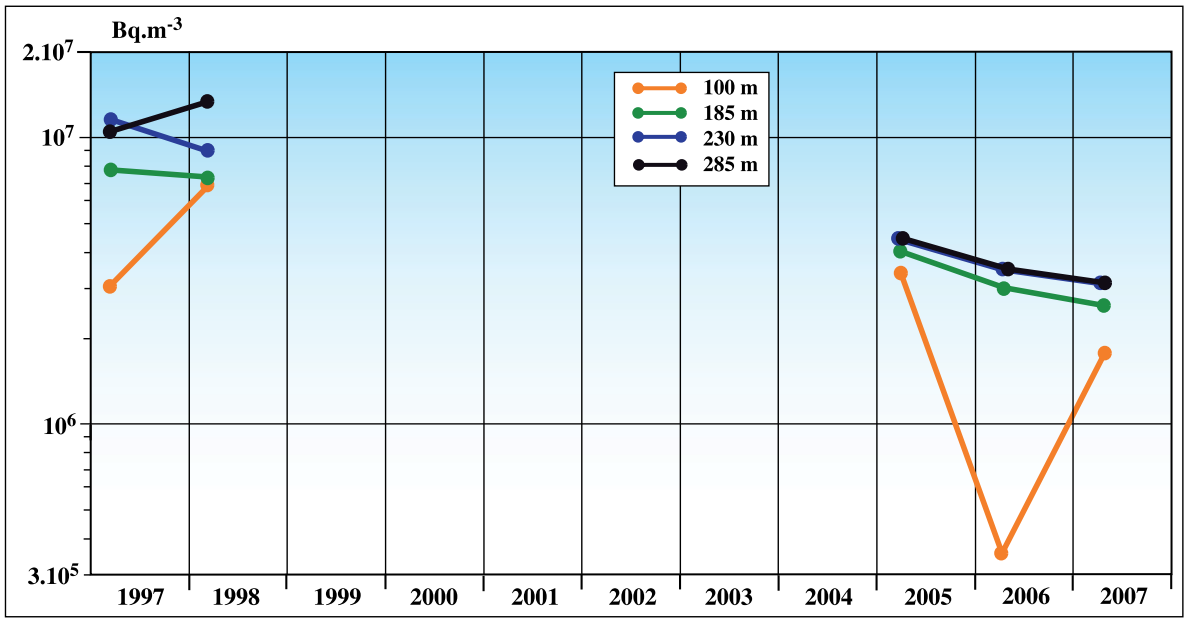


Figure III.13. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de ORQUE 13 depuis 1997.



Les points des différentes profondeurs sont confondus en 1997, 2000, 2004 et 2007.

Figure III.14. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de LABRE 13 depuis 1997.



Entre 1999 et 2004, le polytube était tombé au fond du lagon, il a été récupéré en septembre 2004.

Figure III.15. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de MURENE 16 depuis 1997.

Zone Ouest

Le tableau III.9. regroupe les résultats des analyses effectuées sur les eaux souterraines de la zone Ouest. Les activités mesurées dans les eaux des observatoires de la zone Ouest sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 1997 lors de la campagne de mesures réalisée par l'AIEA.

Observatoire	Profondeur (m)	HTO ($Bq.m^{-3}$)	Strontium 90 ($Bq.m^{-3}$)	Césium 137 ($Bq.m^{-3}$)	Rapport HTO/Sr	Rapport HTO/Cs
KRILL 23	181	$(1,3 \pm 0,1).10^7$	$(1,3 \pm 0,2).10^3$	$\leq 2,0$	$(9,9 \pm 1,6).10^3$	non calculé
	193	$(1,2 \pm 0,1).10^7$	$(5,2 \pm 0,4).10^2$	$\leq 3,1$	$(2,4 \pm 0,2).10^4$	
	220 ✻	$(4,6 \pm 0,2).10^6$	$\leq 1,4$	$\leq 2,9$	non calculé	
	310	$\leq 1,3.10^3$	$1,4 \pm 0,4$	$3,2 \pm 1,0$	non calculé	
	330	$(1,0 \pm 0,5).10^3$	$1,0 \pm 0,4$	$\leq 3,7$	$(1,0 \pm 0,7).10^3$	
	345	$(1,0 \pm 0,5).10^3$	$1,3 \pm 0,4$	$\leq 5,2$	$(7,5 \pm 6,8).10^2$	
ISURUS 10	260	$(2,0 \pm 0,1).10^5$	$(1,6 \pm 0,2).10^1$	$\leq 2,2$	$(1,2 \pm 0,2).10^4$	non calculé
	265	$(2,0 \pm 0,1).10^5$	$(1,7 \pm 0,3).10^1$	$\leq 3,0$	$(1,2 \pm 0,2).10^4$	
	275	$(1,9 \pm 0,1).10^5$	$(1,3 \pm 0,2).10^1$	$\leq 2,8$	$(1,5 \pm 0,2).10^4$	
	315	$\leq 9,0.10^2$	$\leq 1,5$	$1,2 \pm 0,5$	non calculé	
	330	$\leq 1,3.10^3$	$0,9 \pm 0,3$	$\leq 2,3$		
	345	$\leq 9,0.10^2$	$1,0 \pm 0,4$	$\leq 2,1$		
FLET 08	100	$\leq 9,0.10^2$	$\leq 1,7$	$6,8 \pm 1,1$	non calculé	non calculé
	135	$\leq 9,0.10^2$		$\leq 2,6$		
	193	$\leq 9,0.10^2$		$\leq 2,3$		
	280	$(1,2 \pm 0,5).10^3$		$\leq 3,0$		
DRAGON 09	162	$\leq 1,0.10^3$	$\leq 1,5$	$\leq 5,9$	non calculé	non calculé
	205	$\leq 9,0.10^2$				
	258	$\leq 1,0.10^3$				

✻ : Krill 23 profondeur 220 m : ^{238}Pu : $0,058 \pm 0,022$ $Bq.m^{-3}$ et $^{239}Pu + ^{240}Pu$: $0,279 \pm 0,058$ $Bq.m^{-3}$

Tableau III.9. : Activité des eaux souterraines de la zone Ouest de Mururoa en 2007.

Les figures III.16. à III.19. présentent l'évolution de la radioactivité dans les eaux souterraines des observatoires de la zone Ouest de Mururoa depuis 1997. Depuis 2003, la valeur de la cote 181 m est montée au niveau des valeurs des cotes 193 m et 220m.

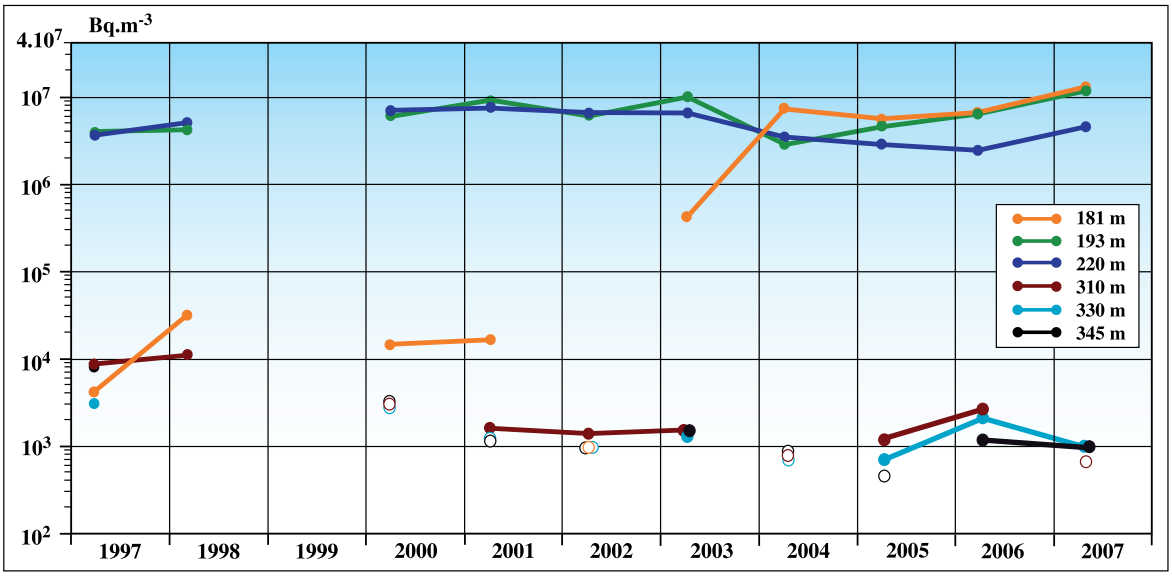


Figure III.16. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de KRILL 23 depuis 1997.

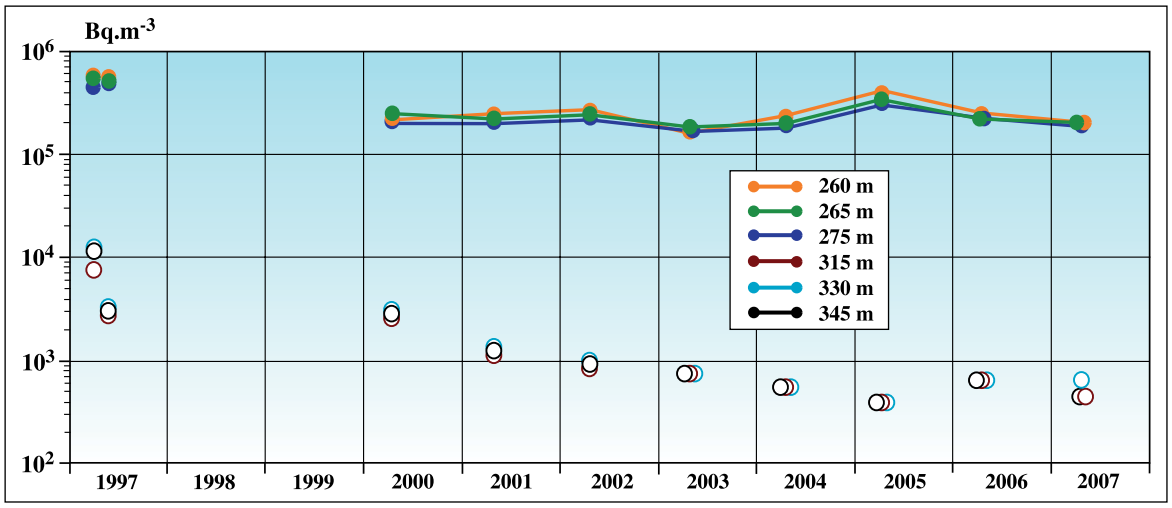


Figure III.17. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de ISURUS 10 depuis 1997.

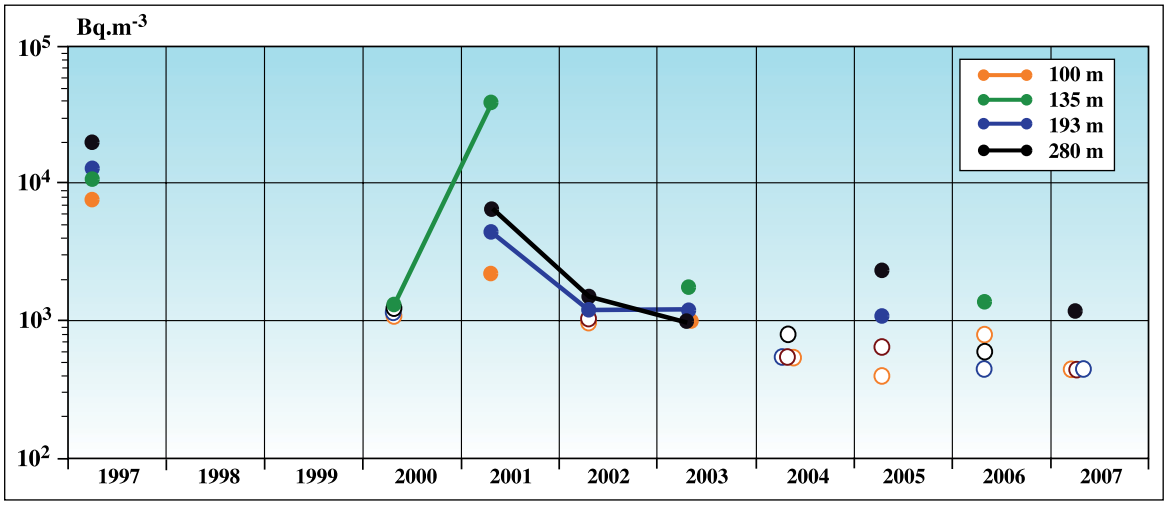


Figure III.18. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de FLET 08 depuis 1997.

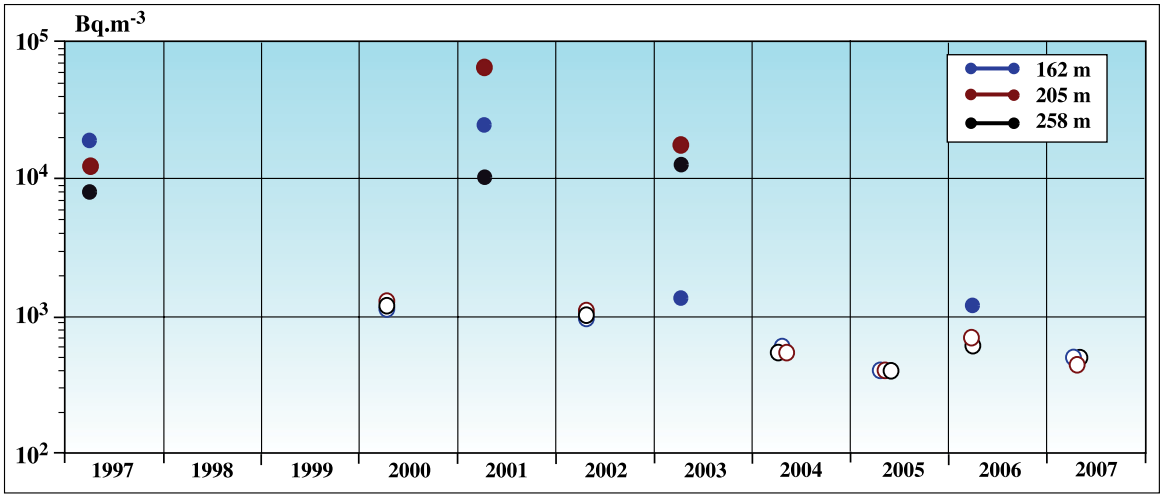


Figure III.19. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de DRAGON 09 depuis 1997.

La figure III.20. présente les activités maximales mesurées dans chacun des observatoires de Mururoa.

La radioactivité dans les eaux souterraines de Mururoa reste donc relativement constante depuis 1997.

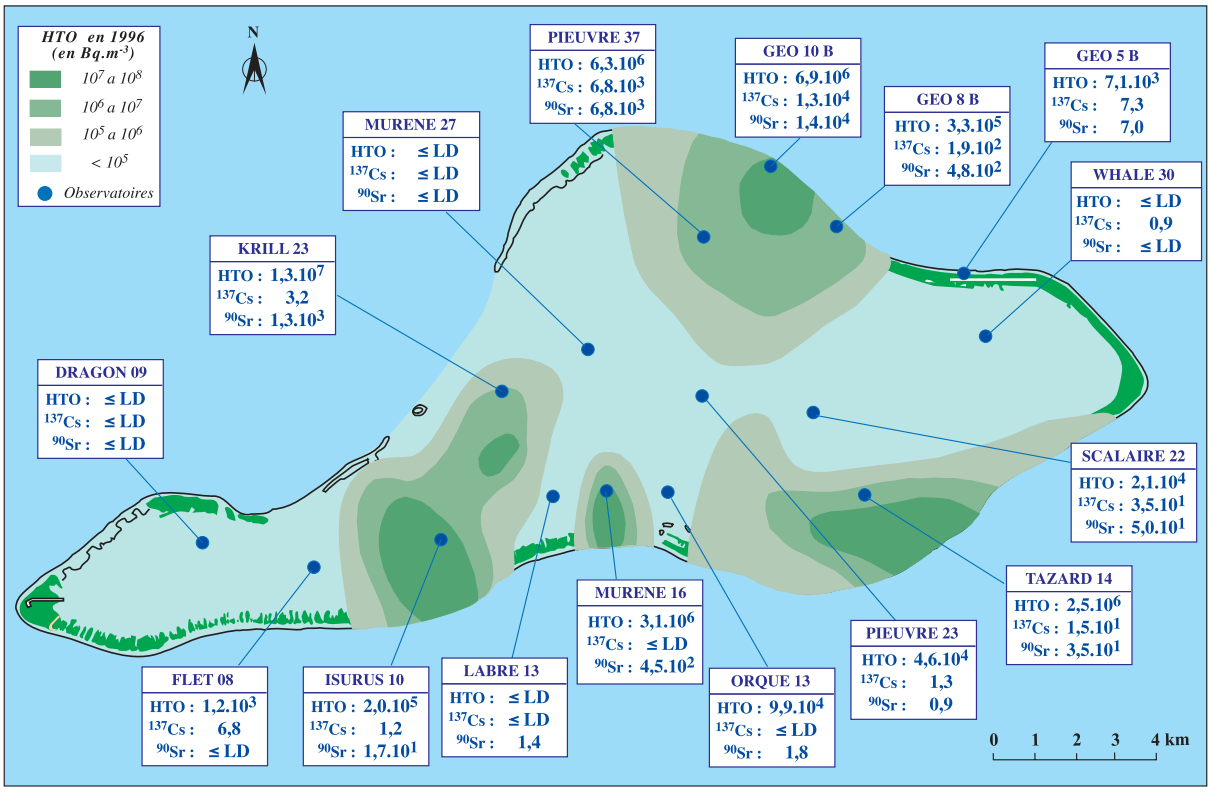


Figure III.20. : Répartition de l'eau tritiée dans les eaux souterraines des carbonates (courbes établies en 1996) **et activités maximales significatives en Bq.m^{-3} observées en 2007 dans les observatoires de Mururoa.**

III.2.2. - L'atoll de FANGATAUFA

Le tableau III.10. regroupe les résultats des analyses effectuées sur les eaux souterraines de Fangataufa.

La radioactivité, présente dans les carbonates, a pour origine l'expérimentation LYCOS (caractérisée par un rapport HTO/^{90}Sr de l'ordre de 10^4 et un rapport HTO/^{137}Cs de l'ordre de 4.10^4). Comme le montre le tableau III.10., c'est l'horizon karstique supérieur qui contient la majeure partie de cette activité. Les mesures effectuées dans les eaux des observatoires Natice 19, Mitre 27 et Porcelaine 23 sont du même ordre de grandeur que celles de 1997. Celles de Fuseau 30, qui avaient augmenté en 1998, sont revenues au niveau des valeurs de 1997.

Observatoire	Profondeur (m)	HTO ($Bq.m^{-3}$)	Strontium 90 ($Bq.m^{-3}$)	Césium 137 ($Bq.m^{-3}$)	Rapport HTO/Sr	Rapport HTO/Cs
NATICE 19	200	$(5,2 \pm 0,3).10^5$	$(2,9 \pm 0,4).10^1$	$\leq 3,6$	$(1,8 \pm 0,3).10^4$	non calculé
	235	$(6,1 \pm 0,3).10^5$	$(4,4 \pm 0,6).10^1$	$\leq 2,2$	$(1,4 \pm 0,2).10^4$	
	320	$(2,6 \pm 0,5).10^3$	$1,9 \pm 0,5$	$\leq 2,2$	$(1,3 \pm 0,5).10^3$	
	340	$(2,7 \pm 0,5).10^3$	$2,0 \pm 0,5$	$\leq 3,0$	$(1,4 \pm 0,4).10^3$	
FUSEAU 30	✻ 193	$(2,0 \pm 0,1).10^6$	$\leq 1,4$	$(1,1 \pm 0,1).10^2$	non calculé	$(1,9 \pm 0,2).10^4$
	215	$(2,1 \pm 0,1).10^6$	$(1,3 \pm 0,1).10^2$	$(1,1 \pm 0,1).10^2$	$(1,6 \pm 0,1).10^4$	$(1,8 \pm 0,2).10^4$
	255	$(4,6 \pm 0,2).10^5$	$(2,8 \pm 0,2).10^1$	$(2,3 \pm 0,4).10^1$	$(1,7 \pm 0,2).10^4$	$(2,0 \pm 0,4).10^4$
	268	$(3,1 \pm 0,2).10^5$	$(1,8 \pm 0,2).10^1$	$(1,4 \pm 0,5).10^1$	$(1,8 \pm 0,2).10^4$	$(2,2 \pm 0,8).10^4$
MITRE 27	233 - 235	$(1,3 \pm 0,5).10^3$	$1,3 \pm 0,5$	$\leq 3,1$	$(1,0 \pm 0,6).10^3$	non calculé
	237 - 239	$(1,4 \pm 0,5).10^3$	$1,4 \pm 0,6$	$1,2 \pm 0,8$	$(9,7 \pm 5,1).10^2$	$(1,2 \pm 0,9).10^3$
PORCELAINE 23	203	$(8,3 \pm 0,4).10^4$	$2,4 \pm 0,6$	$2,4 \pm 0,7$	$(3,4 \pm 0,9).10^4$	$(3,5 \pm 1,1).10^4$
	257	$(5,7 \pm 0,6).10^3$	$\leq 1,5$	$\leq 3,8$	non calculé	non calculé
	270	$\leq 9,0.10^2$	$\leq 2,3$	$\leq 3,3$		

✻ : Fuseau 30 profondeur 193 m : ^{238}Pu : $\leq 0,040$ $Bq.m^{-3}$ et $^{239}Pu+^{240}Pu$: $\leq 0,108$ $Bq.m^{-3}$

Tableau III.10. : Activité des eaux souterraines de Fangataufa en 2007.

Les figures III.21. à III.24. présentent l'évolution de la radioactivité en tritium dans les eaux souterraines des différents observatoires de Fangataufa depuis 1997.

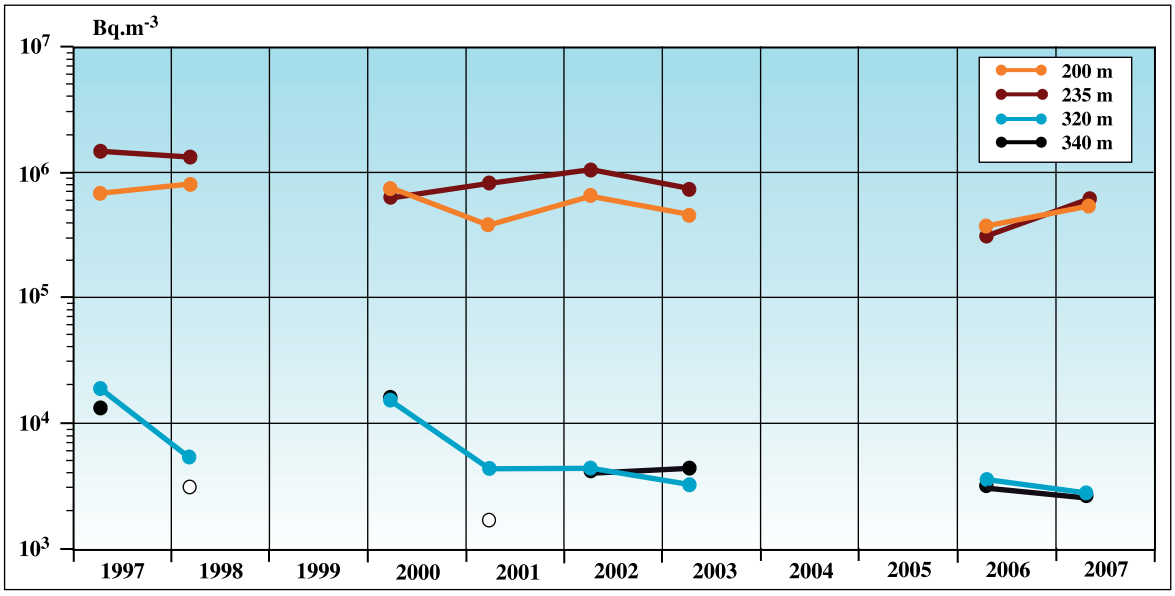


Figure III.21. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de NATICE 19 depuis 1997.

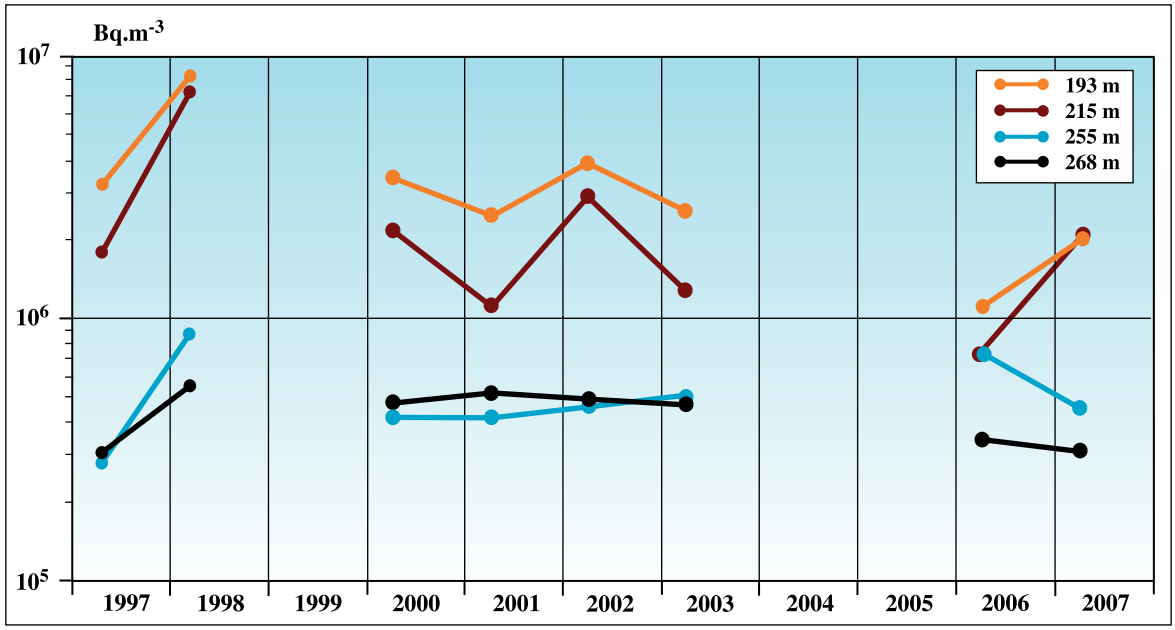


Figure III.22. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de FUSEAU 30 depuis 1997.

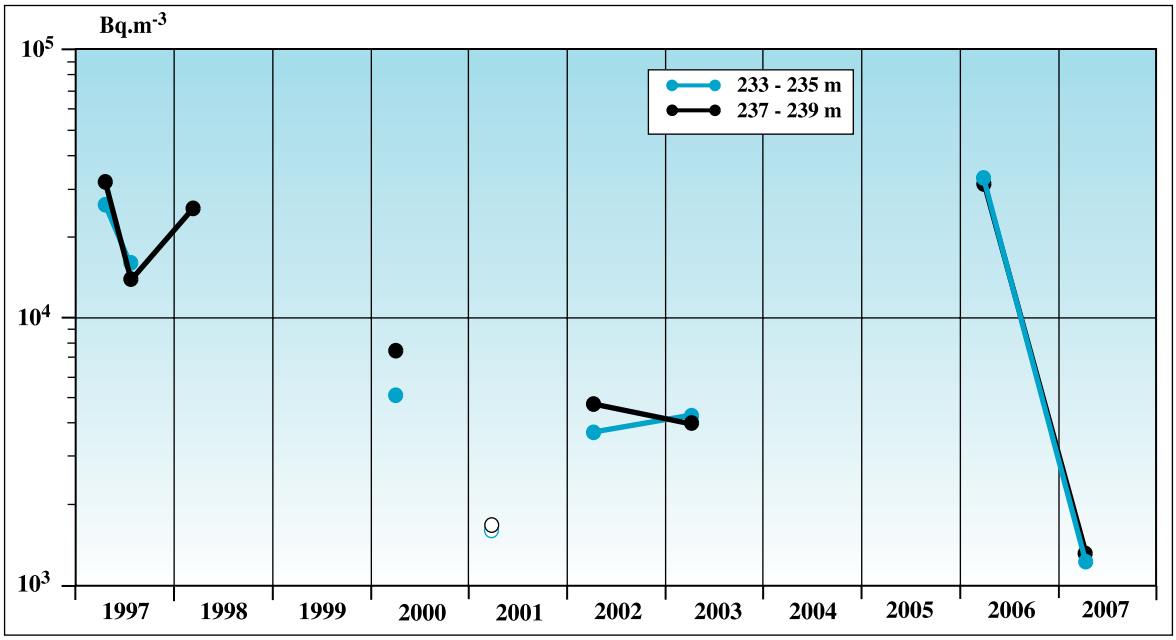


Figure III.23. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de MITRE 27 depuis 1997.

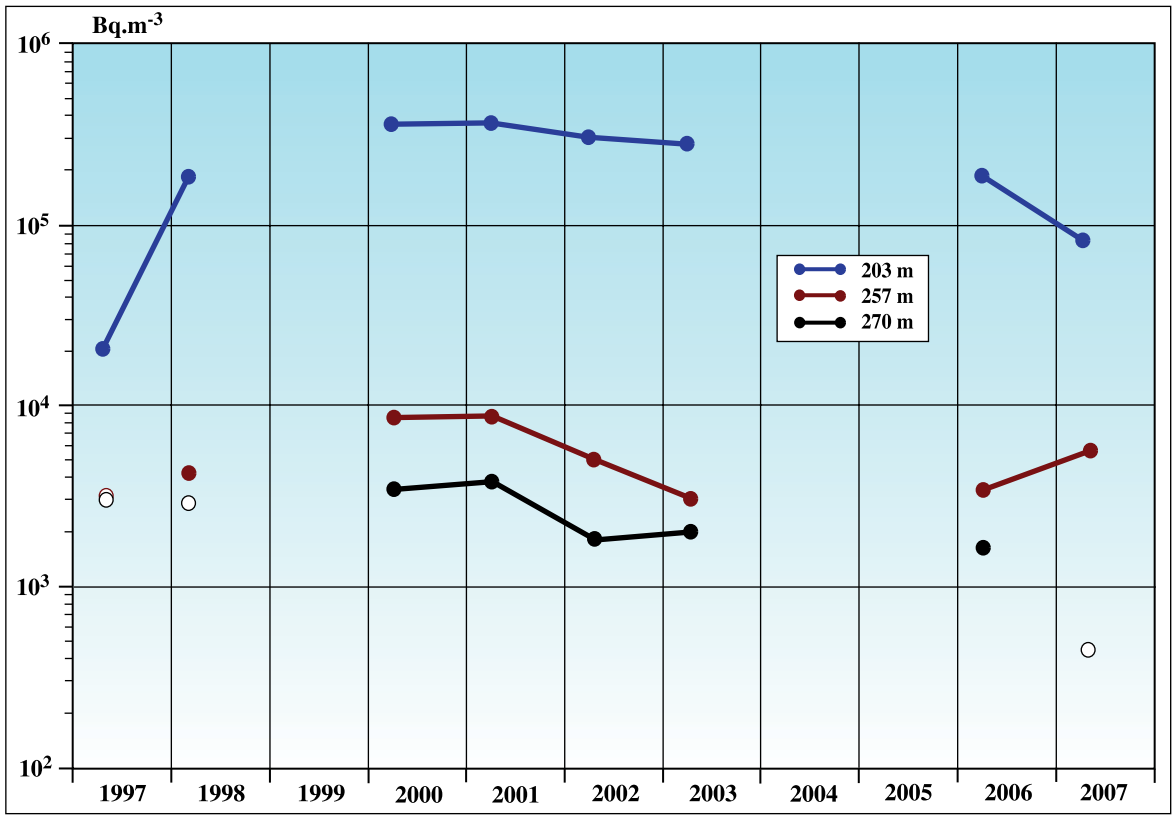


Figure III.24. : Evolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de PORCELAINE 23 depuis 1997.

La figure III.25. présente les activités maximales relevées dans chacun des observatoires de Fangataufa.

La radioactivité HTO dans les eaux souterraines de Fangataufa est stable depuis 1997.

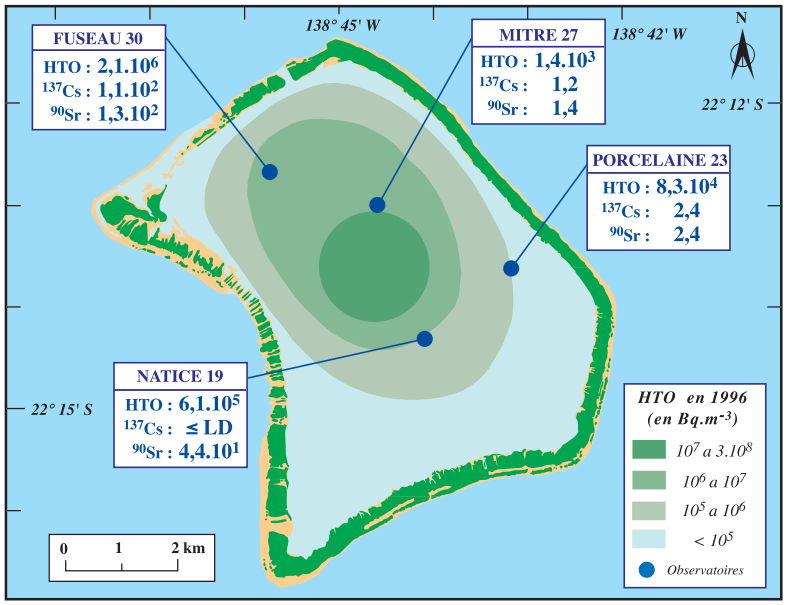


Figure III.25. : Répartition de l'eau tritiée dans les eaux souterraines des carbonates (courbes établies en 1996) et activités maximales significatives en Bq.m^{-3} observées en 2007 dans les observatoires de Fangataufa.

Chapitre IV
LA SURVEILLANCE DU LAGON

IV.1. - LES EAUX DE LAGON

L'édition 2003 du guide de surveillance radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa a repris la modification apportée en 2001.

Les volumes prélevés sont :

- de 2 x 30 litres pour la mesure du césium 137, du plutonium et du strontium 90,
- de 2 x 50 millilitres pour la mesure du tritium sous forme d'eau tritiée (HTO).

Des recherches de HTO, césium 137, strontium 90 et plutonium sont effectuées les années paires.

Les années impaires, seuls l'HTO et le césium 137 sont systématiquement analysés. Le rapport césium 137/strontium 90 restant inférieur à 2, le strontium ne sera mesuré que si la valeur moyenne en césium 137 s'écarte de manière significative des valeurs habituelles.

Les résultats en strontium 90 et plutonium, en 2006, sont en annexe B.

IV.1.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Les prélèvements ont été effectués en 9 emplacements à l'intérieur du lagon de Mururoa (Figure IV.1.) :

- APRION 06, GORGONE 05, JANIE 32, ORQUE 41, SCALAIRE 15 et ZANCLUS 25 pour la surveillance du pourtour du lagon,
- LABRE 32, PIEUVRE 27 et UMBRE 24 pour la surveillance du centre du lagon.

Les prélèvements sont effectués à - 5 mètres de la surface.

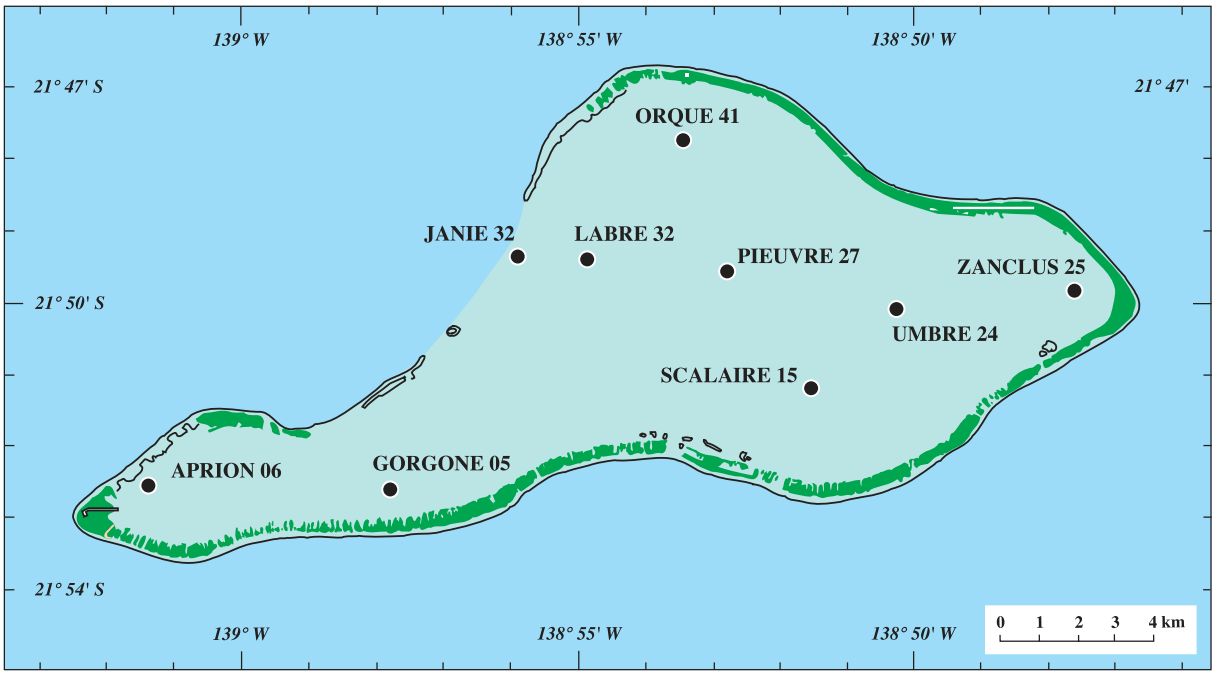


Figure IV.1. : Emplacements des prélèvements d'eau de lagon sur l'atoll de Mururoa.

Pour le lagon de Fangataufa, 5 points de prélèvement ont été retenus (Figure IV.2.) :

- CERITHE 27, LIMNEE 35, MITRE 09 et TROQUE 13 pour la surveillance en bordure du lagon,
- MITRE 26 pour la surveillance du centre du lagon.

Les prélèvements sont effectués à - 5 mètres de la surface.

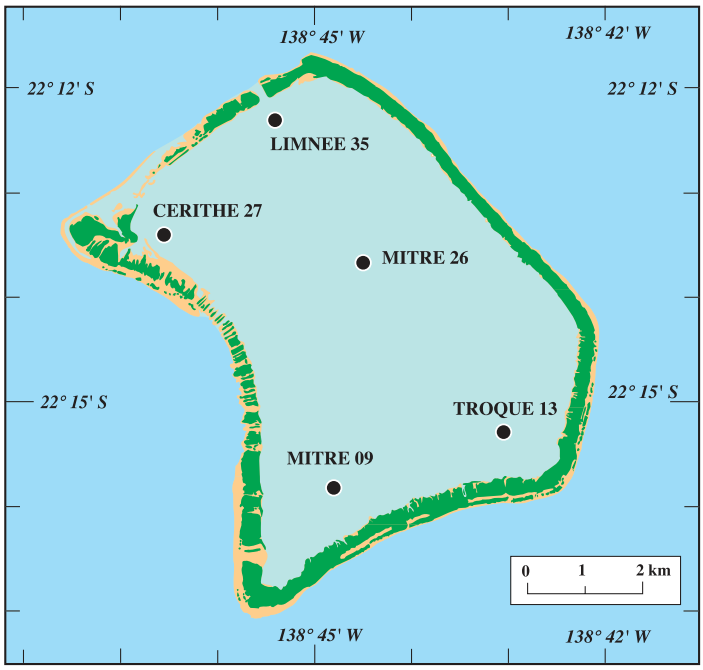


Figure IV.2. : Emplacements des prélèvements d'eau de lagon sur l'atoll de Fangataufa.

NB : En 1995, les points de prélèvements (eau et sédiment) des lagons ont été modifiés. Pour les années antérieures, dans les calculs et sur les figures, seuls sont pris en compte les points proches des points actuels.

Prélèvement d'eau de lagon à Mururoa.

IV.1.2. - LES RESULTATS

Cette année, les analyses suivantes ont été effectuées :

- Mesure de l'HTO par scintillation liquide,
- Recherche et mesure du ^{137}Cs par spectrométrie γ sur détecteur semi-conducteur Ge HP.

IV.1.2.1. - L'atoll de MURUROA

Les caractéristiques des prélèvements effectués sur l'atoll de Mururoa sont indiquées dans le tableau IV.1.

Lieux	Coordonnées géographiques	Date de prélèvement	Prélèvement 30 litres (Césium 137)	Prélèvement 50 ml (HTO)
APRION 06	21° 52' 45,108" S 139° 02' 15,727" W	05.04.07	●	●
GORGONE 05	21° 52' 41,938" S 138° 57' 54,533" W	05.04.07	●	●
JANIE 32	21° 49' 16,830" S 138° 55' 56,727" W	10.04.07	●	●
ORQUE 41	21° 47' 45,904" S 138° 53' 20,238" W	10.04.07	●	●
SCALAIRE 15	21° 51' 12,531" S 138° 51' 29,322" W	09.04.07	●	●
ZANCLUS 25	21° 49' 51,357" S 138° 47' 30,223" W	09.04.07	●	●
LABRE 32	21° 49' 24,619" S 138° 54' 53,631" W	10.04.07	●	●
PIEUVRE 27	21° 49' 36,033" S 138° 52' 46,347" W	09.04.07	●	●
UMBRE 24	21° 50' 09,624" S 138° 50' 09,445" W	09.04.07	●	●

● : prélèvement effectué

Tableau IV.1. : Caractéristiques des prélèvements d'eau de lagon à Mururoa.

Eau tritiée (HTO)

Le tableau IV.2. présente les résultats de tritium par scintillation liquide.

Zones	Lieux	Activité ($Bq.m^{-3}$)
Pourtour du lagon	APRION 06 GORGONE 05 JANIE 32 ORQUE 41 SCALAIRE 15 ZANCLUS 25	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000
Centre du lagon	LABRE 32 PIEUVRE 27 UMBRE 24	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000

Tableau IV.2. : Radioactivité en HTO des eaux de lagon de Mururoa en 2007.

La figure IV.3. présente l'évolution de la radioactivité moyenne des eaux en HTO dans le lagon de Mururoa depuis 1987.

Depuis 2000, les valeurs sont inférieures aux limites de détection, hormis pour l'année 2002.

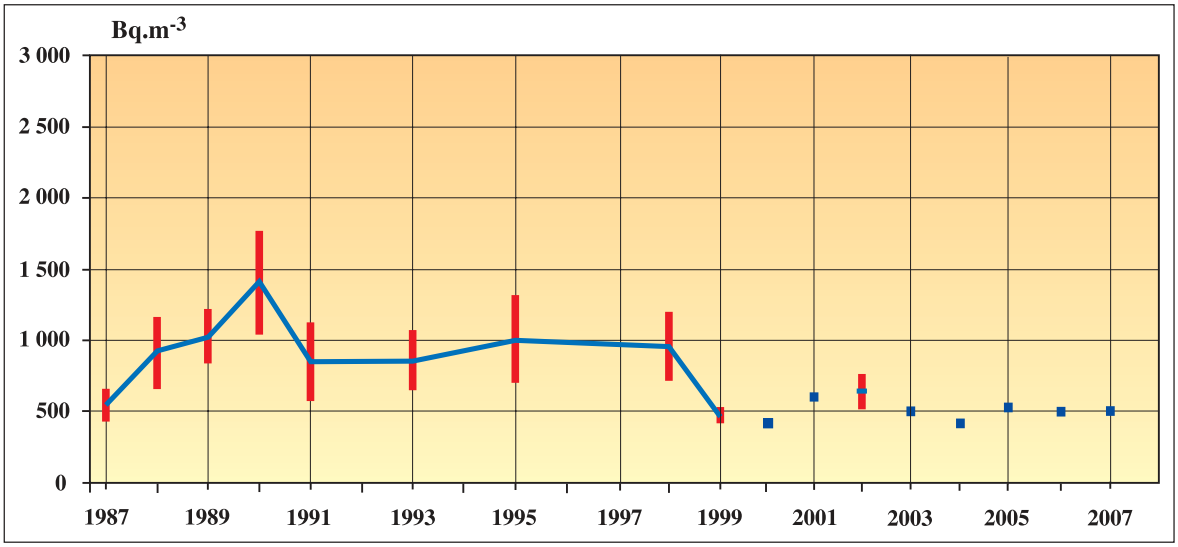


Figure IV.3. : Evolution de la radioactivité moyenne HTO des eaux de lagon de Mururoa depuis 1987.

Bien que la radioactivité de ce radionucléide soit environ 10 fois plus élevée dans le lagon de Mururoa que dans les eaux océaniques polynésiennes de surface, il faut noter qu'elle est très faible et inférieure à celle généralement mesurée dans de nombreux lacs et fleuves européens.

Césium 137

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau IV.3.

Zones	Lieux	Activité (Bq.m^{-3})
Pourtour du lagon	APRION 06	1,34 ± 0,27
	GORGONE 05	1,49 ± 0,25
	JANIE 32	1,01 ± 0,27
	ORQUE 41	1,38 ± 0,74
	SCALAIRE 15	1,49 ± 0,28
	ZANCLUS 25	0,86 ± 0,28
Centre du lagon	LABRE 32	1,04 ± 0,24
	PIEUVRE 27	1,80 ± 1,10
	UMBRE 24	1,42 ± 0,94
Moyenne		*1,28 ± 0,20*

Tableau IV.3. : Activité du ^{137}Cs dans les eaux du lagon de Mururoa en 2007.

La figure IV.4. présente l'évolution de l'activité moyenne des eaux en ^{137}Cs dans le lagon de Mururoa depuis 1982.

On peut remarquer une diminution notable de la radioactivité en ^{137}Cs de l'eau du lagon qui n'est pas imputable à la seule décroissance radioactive de cet élément. Le réservoir en ^{137}Cs constitué par les sédiments du lagon s'est amoindri notablement au fil des ans par solubilisation du ^{137}Cs et depuis 1989, l'activité en ^{137}Cs des eaux du lagon est du même ordre de grandeur que celle des eaux océaniques polynésiennes. La période de décroissance apparente, à l'origine de l'ordre de 6,2 ± 1,6 ans, est actuellement de l'ordre de 16,8 ± 4,3 ans.

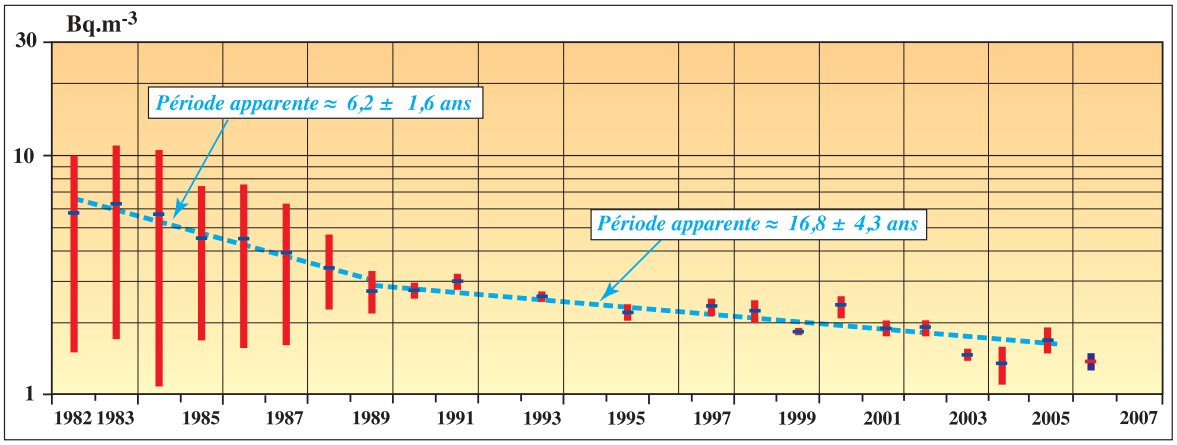


Figure IV.4. : Evolution de l'activité moyenne du ^{137}Cs dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1982.

À l'aide de cette période apparente de 17 ans, les valeurs mesurées, sur les 118 échantillons prélevés depuis 1989, sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.5. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne des valeurs est de 1,41 ± 0,037 Bq.m^{-3}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,81 ; 2,0] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs significatives 2007, qui varient entre 0,86 et 1,8 Bq.m^{-3}, sont comprises dans cet intervalle.

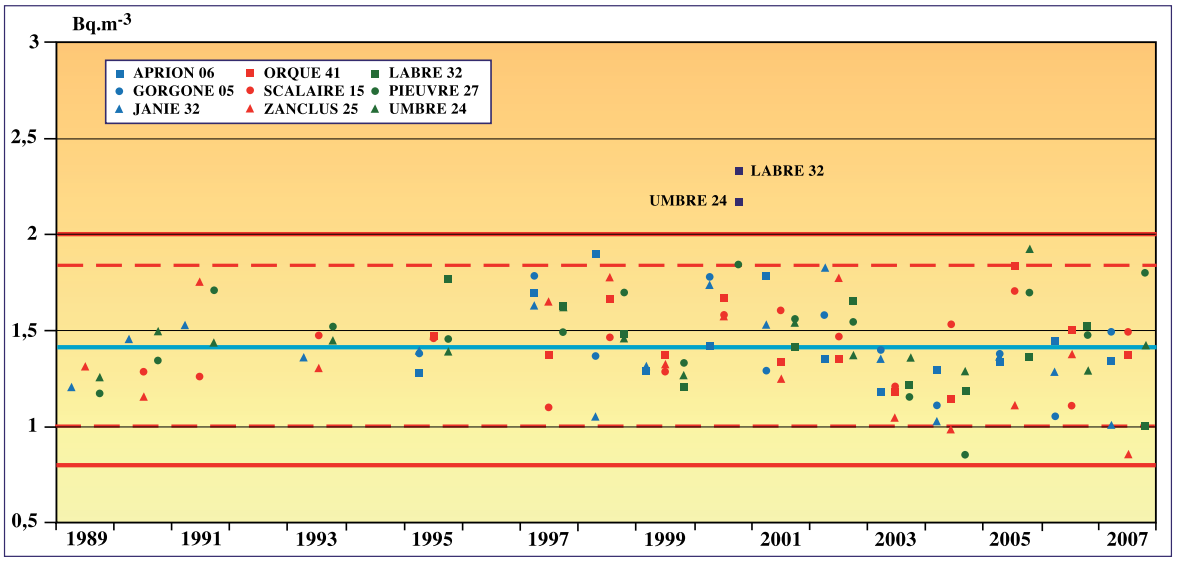


Figure IV.5. : Activité du ^{137}Cs dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1989.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

La valeur moyenne 2007 en césium 137 ne s'écartant pas de manière significative des valeurs habituelles, le strontium 90 n'a pas été mesuré.

Isotope du plutonium

Cette année étant une année impaire, le plutonium n'a pas été mesuré conformément au Guide.

Récapitulatif

En vue de comparer les niveaux de radioactivité des principaux radionucléides artificiels, les activités en HTO et ^{137}Cs sont présentées dans la figure IV.6.

En 2007, les valeurs en HTO sont inférieures à la limite de détection. L'activité moyenne mesurée en ^{137}Cs est de 1,28 $Bq.m^{-3}$.

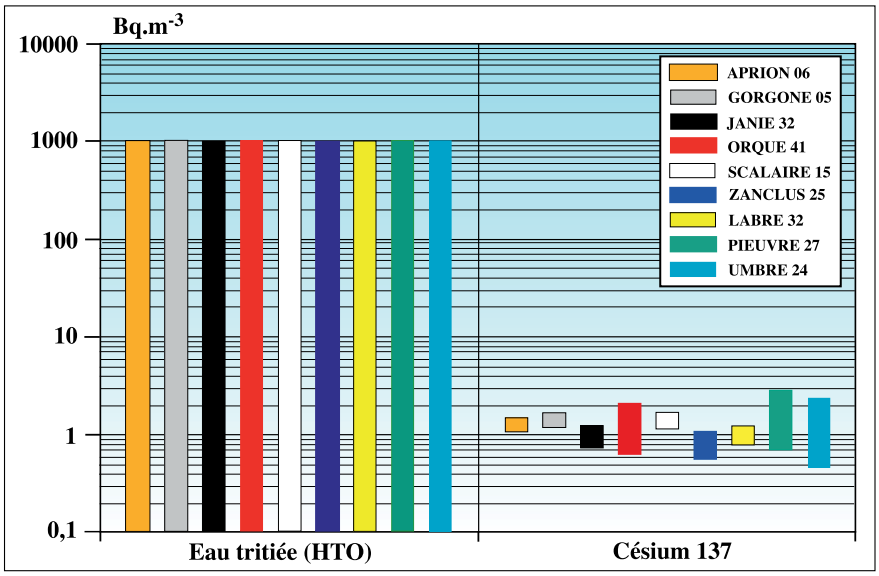


Figure IV.6. : Activité artificielle dans les eaux du lagon de Mururoa en 2007.

IV.1.2.2. - L'atoll de FANGATAUFA

Les caractéristiques des prélèvements effectués sur l'atoll de Fangataufa sont indiquées dans le tableau IV.4.

Lieux	Coordonnées géographiques	Date de prélèvement	Prélèvement 30 litres (Césium 137)	Prélèvement 50 ml (HTO)
CERITHE 27	22° 13' 24,631" S 138° 46' 33,358" W	14.04.07	●	●
LIMNEE 35	22° 12' 18,675" S 138° 45' 24,582" W	14.04.07	●	●
MITRE 09	22° 15' 49,431" S 138° 44' 46,303" W	14.04.07	●	●
TROQUE 13	22° 15' 15,470" S 138° 43' 02,088" W	14.04.07	●	●
MITRE 26	22° 13' 39,196" S 138° 44' 30,931" W	14.04.07	●	●

● : prélèvement effectué

Tableau IV.4. : Caractéristiques des prélèvements d'eau de lagon à Fangataufa.

Eau tritiée

Le tableau IV.5. présente les résultats des mesures HTO effectuées sur les prélèvements d'eau de surface du lagon de Fangataufa.

Zones	Lieux	Activité (Bq.m^{-3})
Pourtour du lagon	CERITHE 27	≤ 1 000
	LIMNEE 35	≤ 1 000
	MITRE 09	≤ 1 000
	TROQUE 13	≤ 1 000
Centre du lagon	MITRE 26	≤ 1 000

Tableau IV.5. : Activité HTO dans les eaux du lagon de Fangataufa en 2007.

La figure IV.7. présente la radioactivité moyenne mesurée dans les eaux de surface du lagon de Fangataufa entre 1991 et 2006. La valeur 2007 est identique aux valeurs moyennes calculées entre 1991 et 2001.

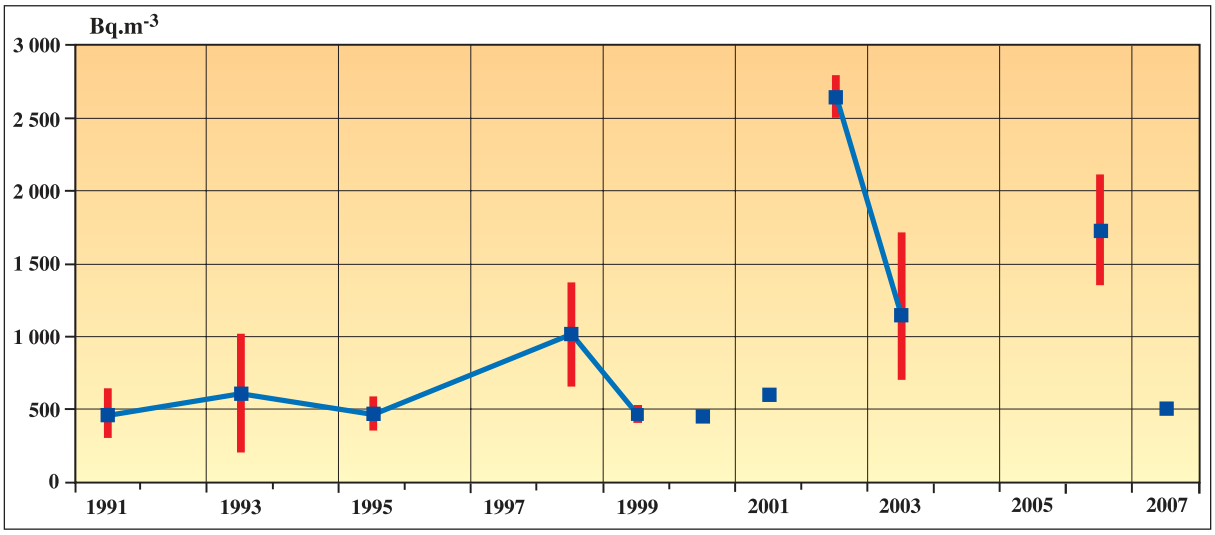


Figure IV.7. : Activité HTO moyenne dans les eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.

Césium 137

Les résultats obtenus en 2007 sont donnés dans le tableau IV.6.

Zones	Lieux	Activité (Bq.m^{-3})
Pourtour du lagon	CERITHE 27	1,54 ± 0,99
	LIMNEE 35	1,52 ± 0,31
	MITRE 09	1,79 ± 0,73
	TROQUE 13	1,45 ± 0,39
Centre du lagon	MITRE 26	1,61 ± 0,31
Moyenne		*1,58 ± 0,12*

Tableau IV.6. : Activité du ^{137}Cs dans les eaux du lagon de Fangataufa en 2007.

La figure IV.8. présente l'activité moyenne en ^{137}Cs depuis 1989.

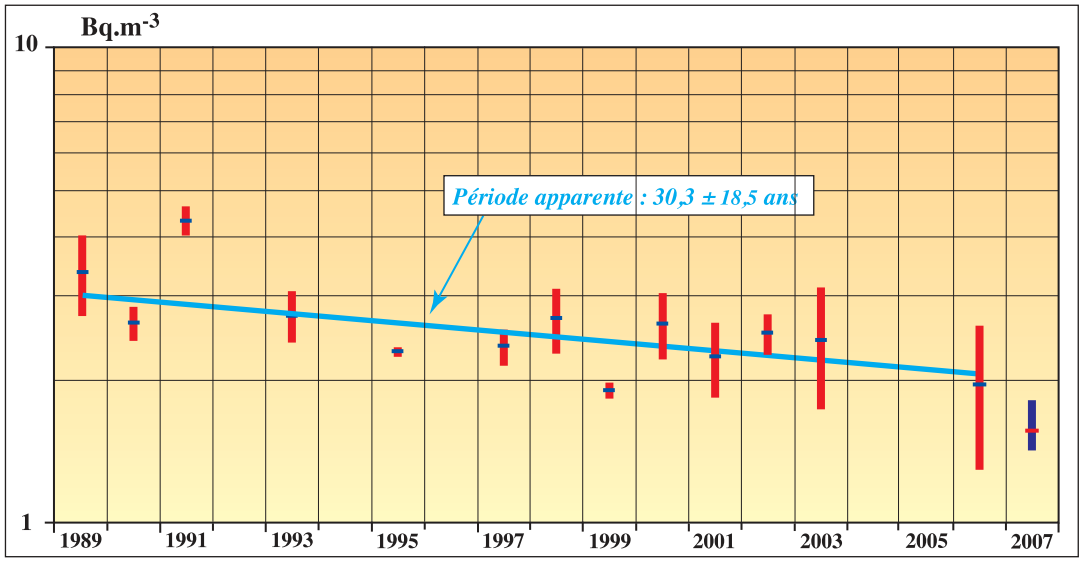


Figure IV.8. : Activité moyenne du ^{137}Cs dans les eaux du lagon de Fangataufa depuis 1989.

L'activité en ^{137}Cs dans les eaux du lagon de Fangataufa est du même ordre de grandeur que celles du lagon de Mururoa. La période de décroissance est celle du ^{137}Cs.

À l'aide de cette période, les valeurs mesurées sur les 61 échantillons prélevés entre 1989 et 2007 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.9. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne des valeurs est de 2,08 ± 0,12 Bq.m^{-3}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,64 ; 3,5] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2007 qui varient entre 1,45 et 1,79 Bq.m^{-3} sont comprises dans cet intervalle.

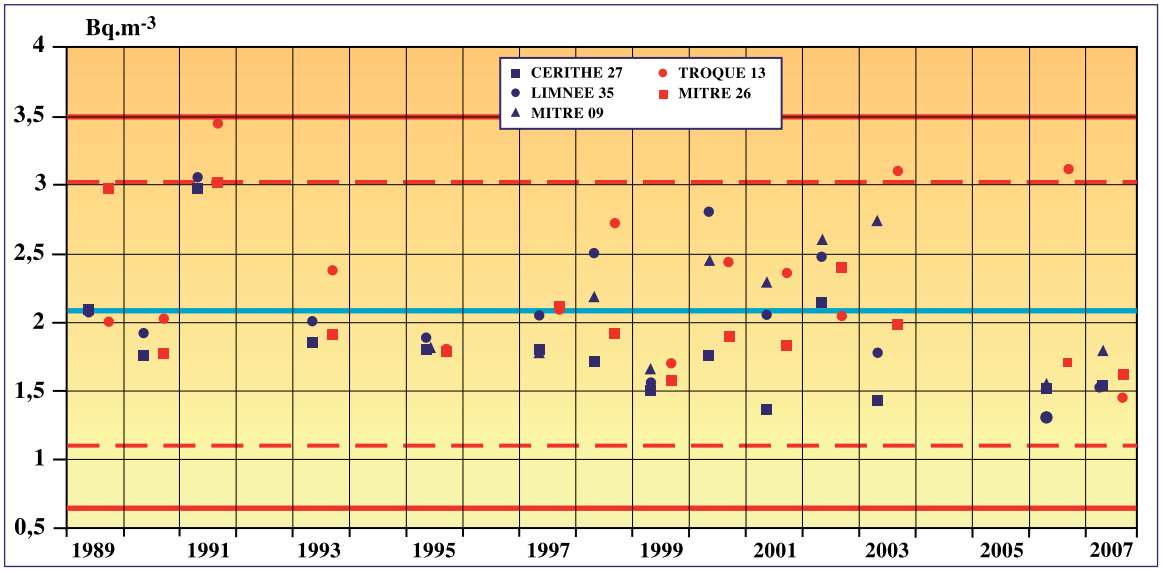


Figure IV.9. : Activité du ^{137}Cs dans les eaux du lagon de Fangataufa depuis 1989.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

La valeur moyenne 2007 en césium 137 ne s'écartant pas de manière significative des valeurs habituelles, le strontium 90 n'a pas été mesuré.

Isotope du plutonium

Cette année étant une année impaire, il n'y a pas eu de mesure de plutonium conformément au Guide.

Récapitulatif

En vue de comparer les niveaux de l'activité des principaux radionucléides artificiels, les activités en HTO et ^{137}Cs sont présentées à la figure IV.10.

Les activités moyennes, mesurées en 2007, sont les suivantes : ≤ LD en HTO et 1,58 $Bq.m^{-3}$ en ^{137}Cs.

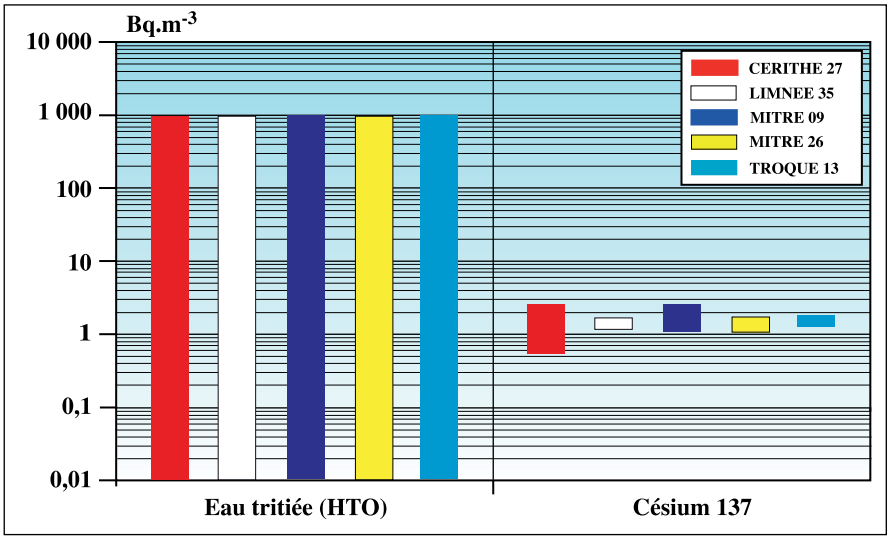


Figure IV.10. : Activité artificielle dans les eaux du lagon de Fangataufa en 2007.

IV.2. - LES SEDIMENTS

Elle est réalisée à partir de l'analyse des prélèvements de sédiments dans les lagons de Mururoa et de Fangataufa.

La radioactivité dans les sédiments ne présente pas d'évolution notable depuis des années. Ainsi la fréquence des analyses a été modifiée. L'édition 2003 du guide de surveillance radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa précise que :

- les prélèvements sont effectués tous les ans dans chacun des deux atolls,
- les analyses par spectrométrie gamma sont réalisées les années paires sur les prélèvements de Mururoa et les années impaires sur ceux de Fangataufa,
- le dosage du plutonium n'est réalisé qu'une année sur quatre,
- la mesure du ^{90}Sr n'est effectuée que si la valeur en ^{137}Cs est supérieure à 1 $Bq.kg^{-1}$,
- les échantillons non-traités sont conservés en archive pour analyse éventuelle.

La future édition du guide prévoit que les sédiments des deux lagons seraient analysés ensemble les années paires.

En 2006, l'analyse complète (γ, Pu) a été réalisée à Mururoa ainsi qu'à Fangataufa. En 2007, aucune mesure n'a été faîte sur les sédiments. Les résultats des années antérieures sont donnés en annexe C.

IV.3. - LE PLANCTON

Le plancton désigne un ensemble d'organismes animaux (zooplancton : copépodes…) et végétaux (phytoplancton : diatomées…). Ces organismes de petites tailles vivent en pleine eau et ont une capacité natatoire très faible voire nulle. Le plancton récolté est très hétérogène.

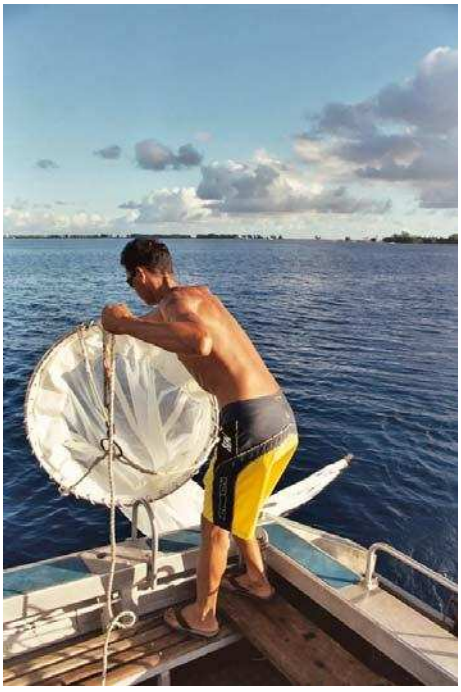
IV.3.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

La récolte du plancton s'effectue par filtration de l'eau de mer *in situ* à travers un filet cylindro-conique de grande taille composé de tissu nylon à mailles dégressives. L'extrémité du filet est munie d'un collecteur en P.V.C. Les filets sont tractés par une embarcation légère à vitesse réduite. La fraction collectée est supérieure à 100 µm. Plusieurs traits sont effectués pour obtenir les 500 grammes de plancton nécessaires à la mesure.

Le contenu de chaque collecteur est passé sur deux tamis superposés de 4 mm et 0,1 mm de mailles, et la fraction supérieure à 4 mm qui concerne les organismes macroplanctoniques (méduses par exemple), est rejetée. La partie planctonique retenue par le tamis de 0,1 mm est recueillie pour être égouttée sur papier absorbant durant trois heures. Les filets sont susceptibles de ramasser aussi des déchets d'origines diverses et des particules sédimentaires.

Un prélèvement à Mururoa et un à Fangataufa sont réalisés chaque année.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie γ. Des extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radioéléments émetteurs α et β contenus dans les cendres des échantillons.



Mise à l'eau du filet à plancton spécifique pour le lagon.

La version 2003 du « Guide de Surveillance Radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa » précise que la mesure du strontium 90 ne sera réalisée que si la mesure du césium 137 est supérieure à 1 $Bq.kg^{-1}$ de plancton.

La dispersion des valeurs en potassium dans le plancton des flancs d'atoll nous a incité à regarder de plus près ces valeurs. Un certain nombre de valeurs de plancton du lagon avait été intégré dans le plancton de flanc d'atoll (océan 1). Ces valeurs ont été déplacées vers la population du plancton du lagon de Mururoa.

IV.3.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LE PLANCTON

Le tableau IV. 7. et la figure IV.11. présentent les résultats de l'échantillon prélevé en 2007.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{60}Co	^{238}Pu	$^{239}Pu + ^{240}Pu$
Mururoa	04.04.07	39,2 ± 2,7	≤ 0,084	0,10 ± 0,03	0,208 ± 0,021	1,96 ± 0,17
Fangataufa	18.04.07	63 ± 13	0,120 ± 0,037	1,60 ± 0,15	19 ± 2,8	51,5 ± 7,5

Tableau IV.7. - Activité dans le plancton des lagons exprimée en $Bq.kg^{-1}$ en 2007.

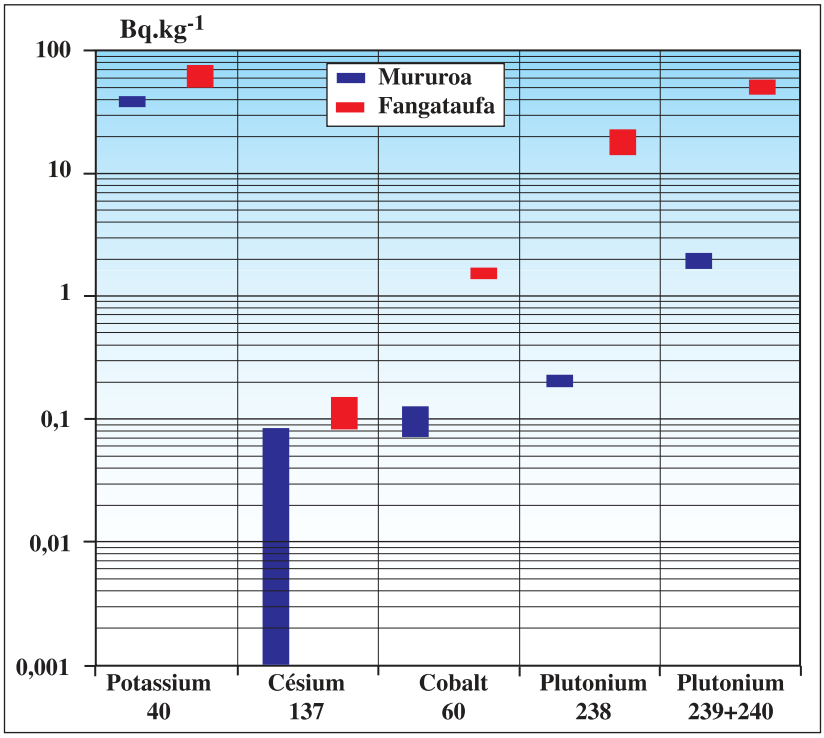


Figure IV.11. - Activité dans le plancton du lagon de Mururoa et de Fangataufa en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le potassium 40 est systématiquement mesuré dans les échantillons. La moyenne géométrique est de 10,25 $Bq.kg^{-1}$ calculée sur les 330 échantillons prélevés depuis 1988 à Mururoa et à Fangataufa.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,7 ; 159] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Ces valeurs sont très dispersées et témoignent de l'importante variation des espèces planctoniques récoltées ou de la présence de particules sédimentaires (Fig. IV.12.). Depuis 1998, les valeurs mesurées sont systématiquement au-dessus de la moyenne.

Les valeurs mesurées en 2007 qui varient entre 39,2 et 63 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

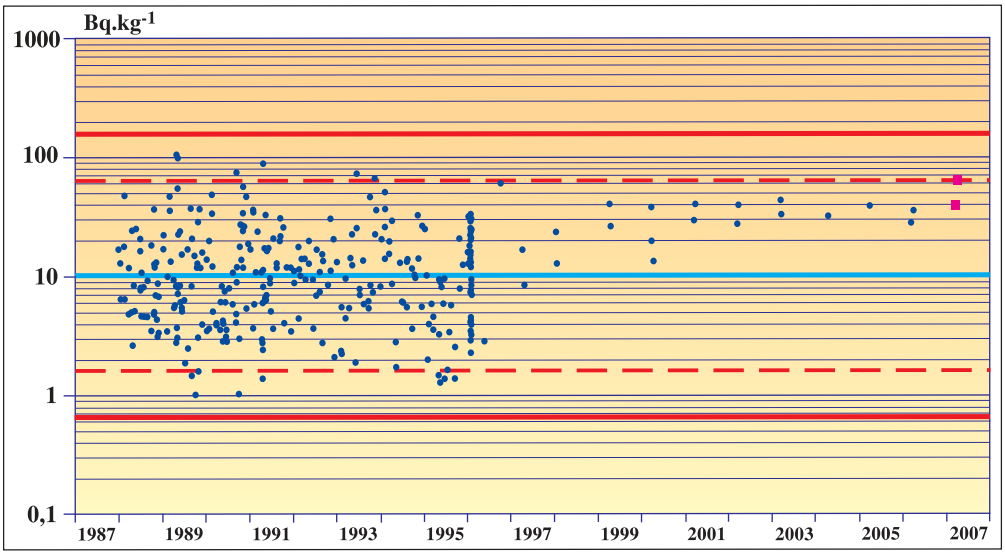


Figure IV.12. – Activité du potassium 40 dans le plancton des lagons de Mururoa et de Fangataufa depuis 1988.

IV.3.2.1. - L'atoll de MURUROA

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137 et strontium 90

La valeur enregistrée de l'activité en césium 137 du plancton de lagon de Mururoa reste, comme les années précédentes, au niveau des limites de détection (de 0,01 à 0,1 Bq.kg^{-1}). Les résultats en césium 137 étant inférieur à 1 Bq.kg^{-1}, le strontium 90 n'a pas été analysé.

Cobalt 60

La figure IV.13. présente l'évolution de la radioactivité en cobalt 60 dans le plancton du lagon de Mururoa depuis 1988. Cette figure montre que l'activité diminue selon une période radioactive de 4,21 ± 0,55 ans.

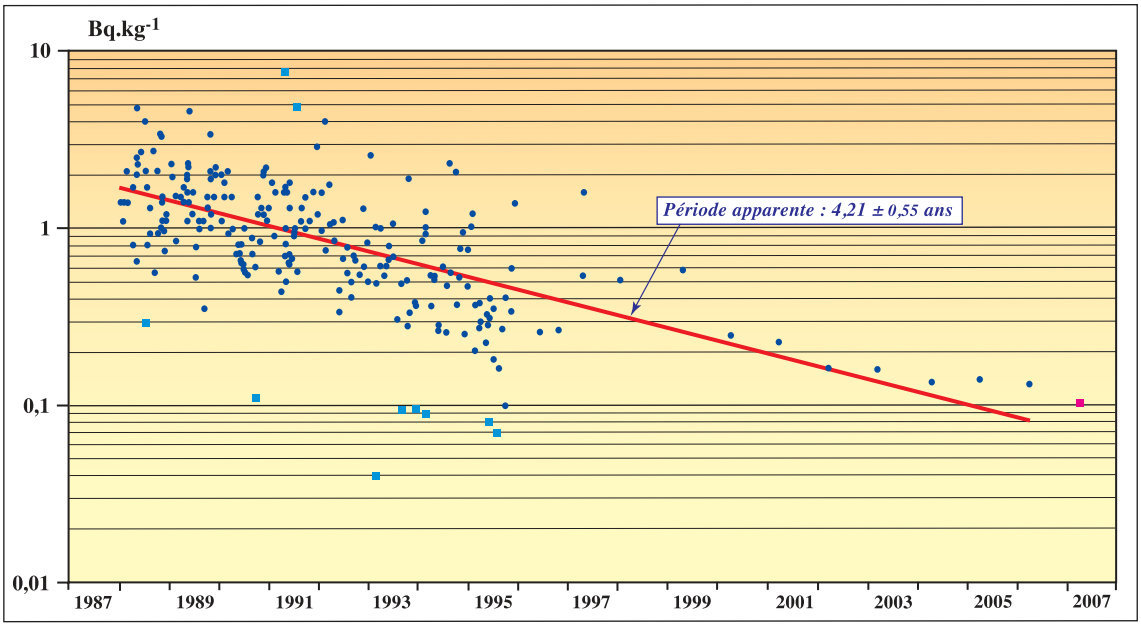


Figure IV.13. : Evolution de l'activité du cobalt 60 dans le plancton du lagon de Mururoa depuis 1988.

À l'aide de la période apparente de 4 ans, les valeurs mesurées sur les 247 échantillons prélevés depuis 1988 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.14. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,07 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,014 ; 0,34] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,10 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

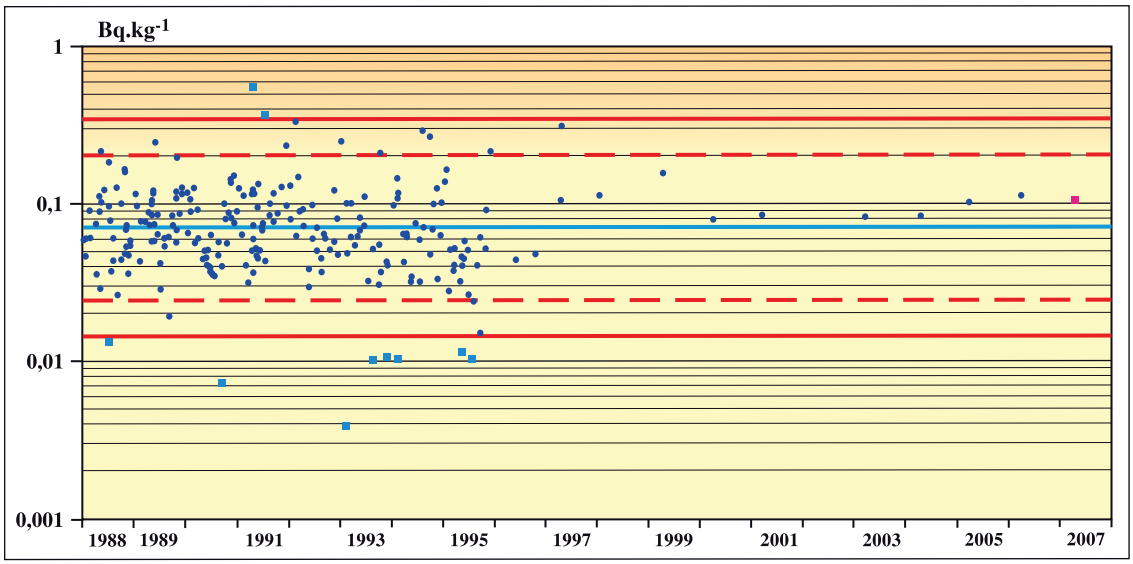


Figure IV.14. – Activité du cobalt 60 dans le plancton du lagon à Mururoa.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Plutonium 238

À l'aide de la période radioactive du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les 225 échantillons prélevés depuis 1988 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.15. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,9 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,03 ; 27,5] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,21 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

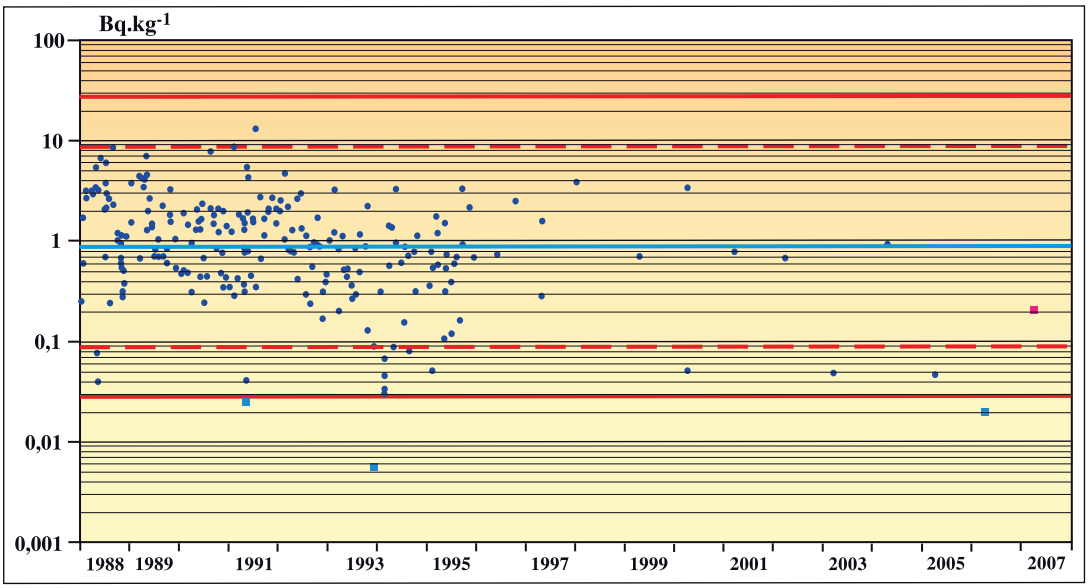


Figure IV.15. – Activité du plutonium 238 dans le plancton du lagon à Mururoa.
(valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Plutonium 239 + plutonium 240

Sur les 224 échantillons prélevés depuis 1988, la moyenne géométrique est de 6,8 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,1 ; 392] traduit la dispersion des résultats (Fig. IV.16.). La valeur 2007 (1,96 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

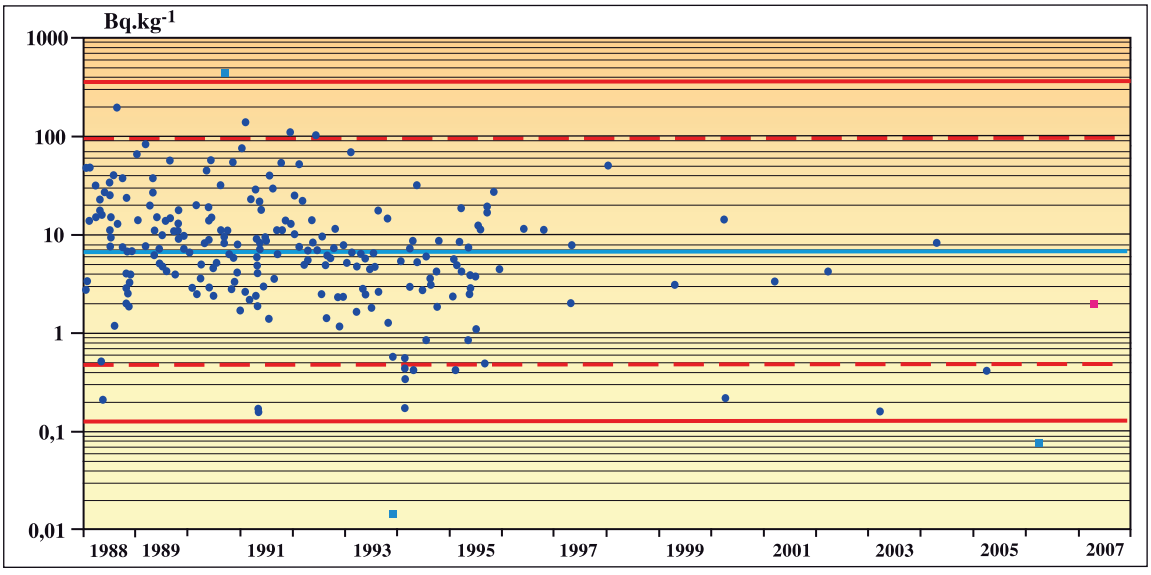


Figure IV.16. – Activité des plutonium 239 + 240 dans le plancton du lagon à Mururoa.

Les écarts des valeurs extrêmes des intervalles démontrent la très grande dispersion des résultats de mesures des plutonium dans le plancton des lagons due essentiellement à la récolte de particules sédimentaires.

Rapport plutonium 238 / plutonium 239 + plutonium 240

La valeur calculée en 2007 est de 0,11 ± 0,014.

Nous avons distingué 3 zones pour le rapport $^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu$ calculés depuis 1988 :

- la zone Est - Sud (dans laquelle nous intégrons les valeurs des rapports calculées depuis 1999),
- la zone Ouest,
- la zone Nord.

Zone Est - Sud

Sur les 127 rapports calculés depuis 1988, la valeur moyenne est de 0,18 ± 0,05. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,03 ; 0,34] traduit la dispersion des résultats.

La valeur pour 2007 qui est de 0,11 ± 0,14 est comprise dans cet intervalle. La figure IV.17. donne la variation de ce rapport depuis 1988.

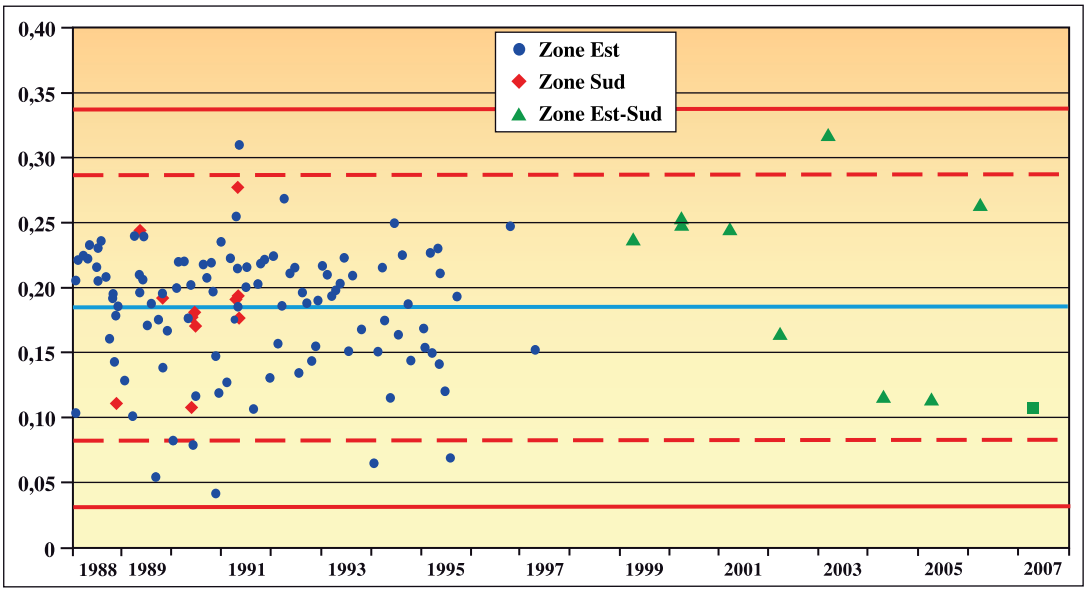


Figure IV.17. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans le plancton du lagon à Mururoa en zone Est - Sud.

Zone Ouest

Cette zone a été séparée de la zone Est - Sud car elle présente des rapports en plutonium légèrement supérieur.

Sur les 8 rapports calculés entre 1988 et 1992, la valeur moyenne est de 0,26 ± 0,2. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,09 ; 0,42] traduit la dispersion des résultats.

La figure IV.18. donne la variation des valeurs de cette zone.

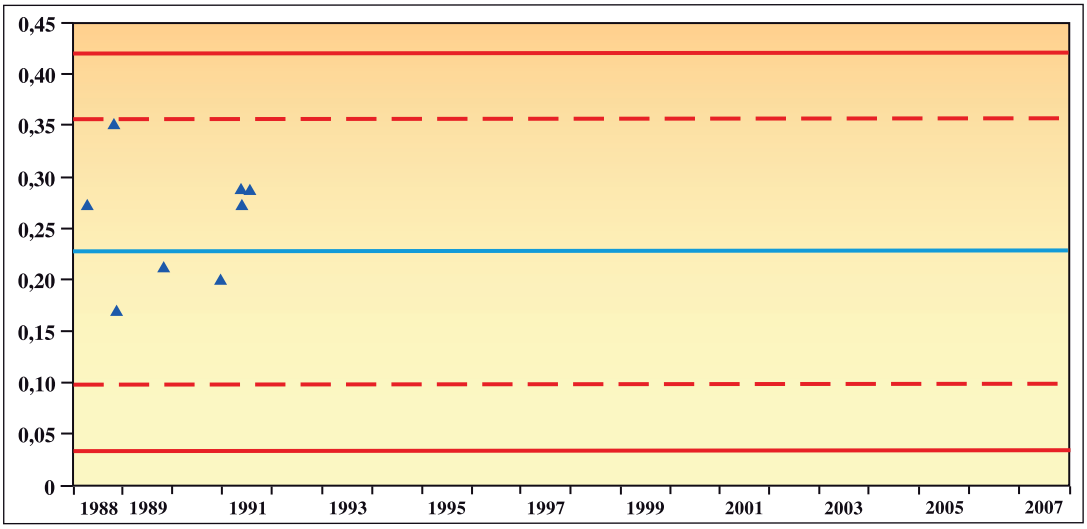


Figure IV.18. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans le plancton du lagon à Mururoa en zone Ouest.

Zone Nord

La figure IV.19. donne la variation des rapports calculés entre 1988 et 1996. La majorité des prélèvements ont été faits en face de la passe. La dispersion des résultats est très importante. Aucun traitement statistique ne sera réalisé cette année.

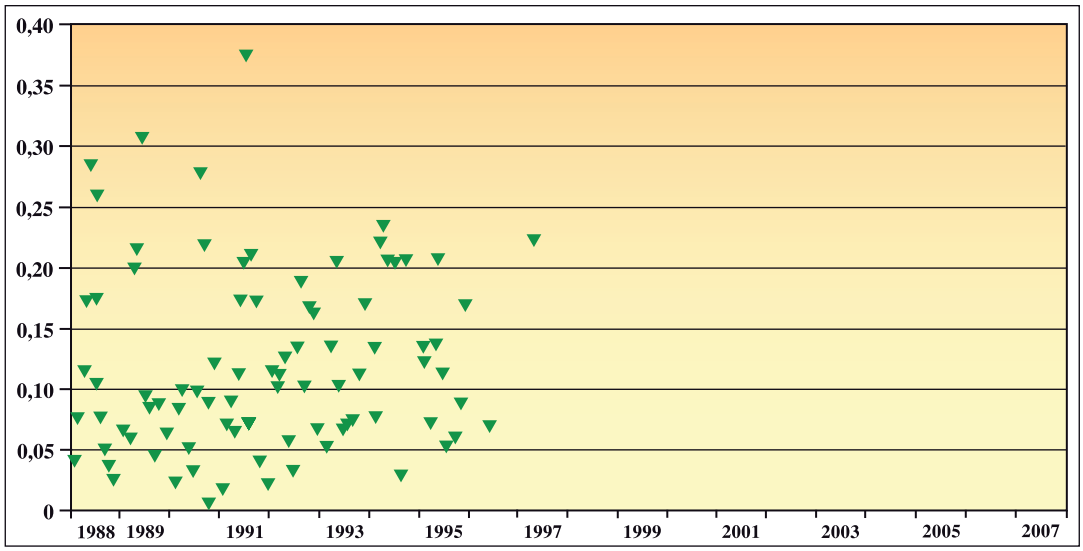


Figure IV.19. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans le plancton du lagon à Mururoa en zone Nord.

IV.3.2.2. - L'atoll de FANGATAUFA

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137 et strontium 90

La valeur enregistrée de l'activité en ^{137}Cs du plancton de lagon de Fangataufa reste, comme les années précédentes, au niveau des limites de détection (de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$). Les résultats en césium 137 étant inférieur à 1 $Bq.kg^{-1}$, le strontium 90 n'a pas été analysé.

Cobalt 60

La figure IV.20. présente l'évolution de la radioactivité en cobalt 60 dans le plancton du lagon de Fangataufa depuis 1988.

Cette figure montre que l'activité diminue selon une période radioactive de 4,39 ± 1,23 ans à Fangataufa.

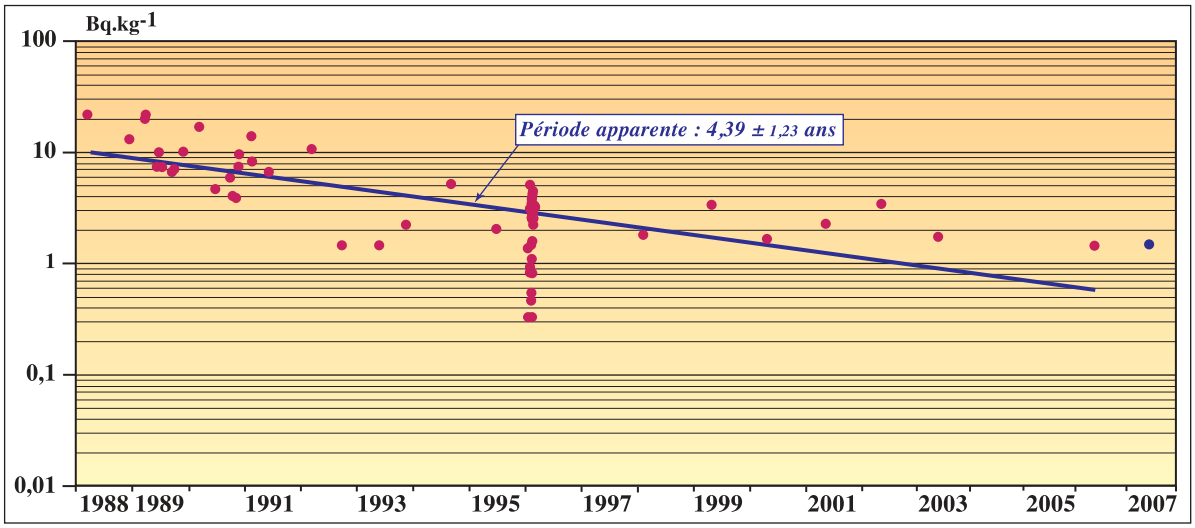


Figure IV.20. : Evolution de l'activité du cobalt 60 dans le plancton du lagon de Fangataufa depuis 1988.

À l'aide de la période apparente de 4,4 ans, les valeurs mesurées sur les 82 échantillons prélevés depuis 1988 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.21. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,66 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,16 ; 2,7] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (1,6 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

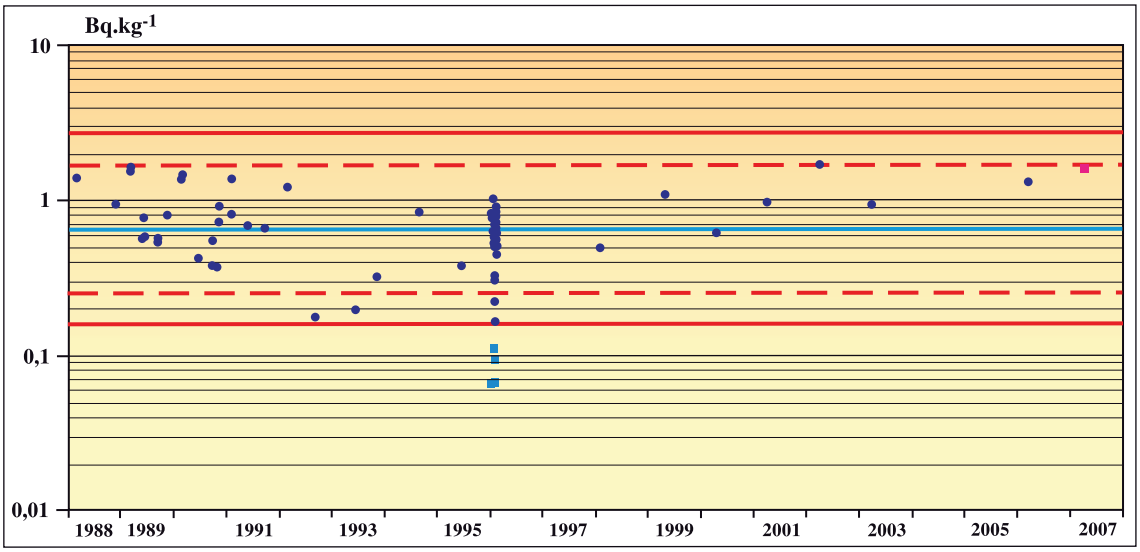


Figure IV.21. – Activité du cobalt 60 dans le plancton du lagon à Fangataufa.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Plutonium 238

À l'aide de la période radioactive du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les 23 échantillons prélevés depuis 1988 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.22. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 3,3 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,07 ; 152] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (19 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

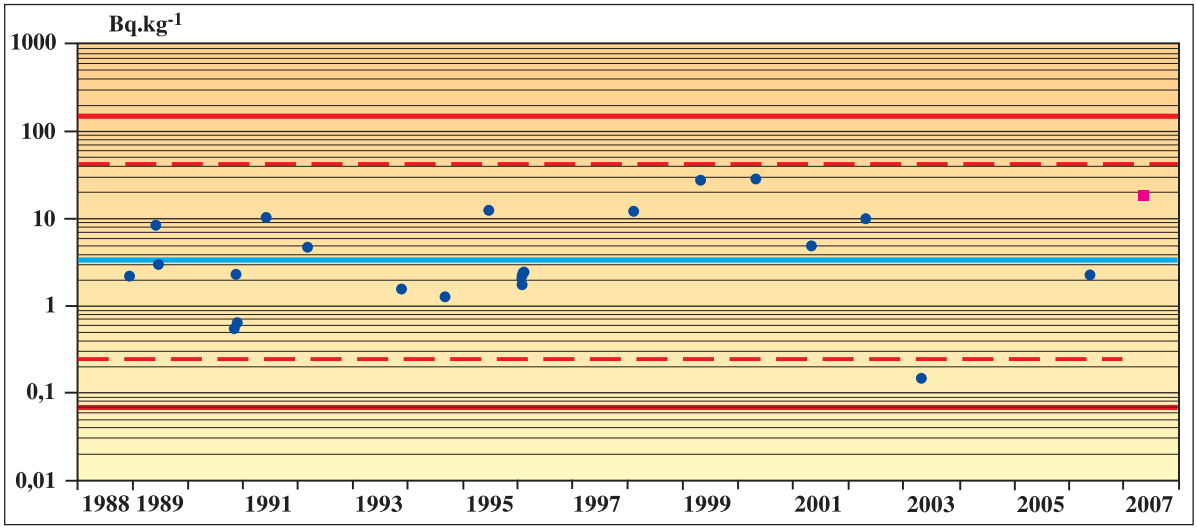


Figure IV.22. – Activité du plutonium 238 dans le plancton du lagon à Fangataufa.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Plutonium 239 + plutonium 240

Sur les 23 échantillons prélevés depuis 1988, la moyenne géométrique est de 10 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 95 % [0,2 ; 438] traduit la dispersion des valeurs (Fig. IV.23.). La valeur 2007 (51,5 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

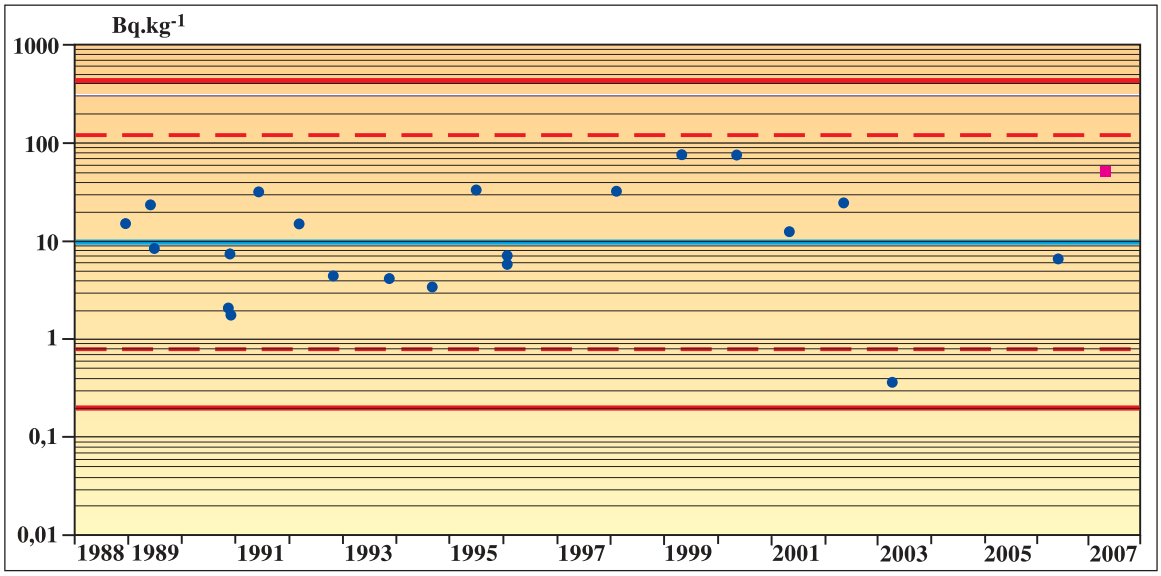


Figure IV.23. – Activité des plutonium 239 + 240 dans le plancton du lagon à Fangataufa.

Les écarts des valeurs extrêmes des intervalles démontrent la très grande dispersion des résultats de mesures des plutonium dans le plancton des lagons due essentiellement à la récolte de particules sédimentaires.

Comme pour le cobalt 60, la valeur mesurée à Fangataufa est légèrement supérieure à celle de Mururoa.

Rapport plutonium 238 / plutonium 239 + plutonium 240

La figure IV.24. donne les valeurs du rapport $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ depuis 1988.

La valeur moyenne calculée sur les 23 rapports est de 0,37 ± 0,01. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,32 ; 0,43] traduit la dispersion des résultats.

La valeur 2007 (0,37 ± 0,08) est comprise dans cet intervalle.

La moyenne des rapports à Fangataufa est plus élevée qu'à Mururoa (0,2).

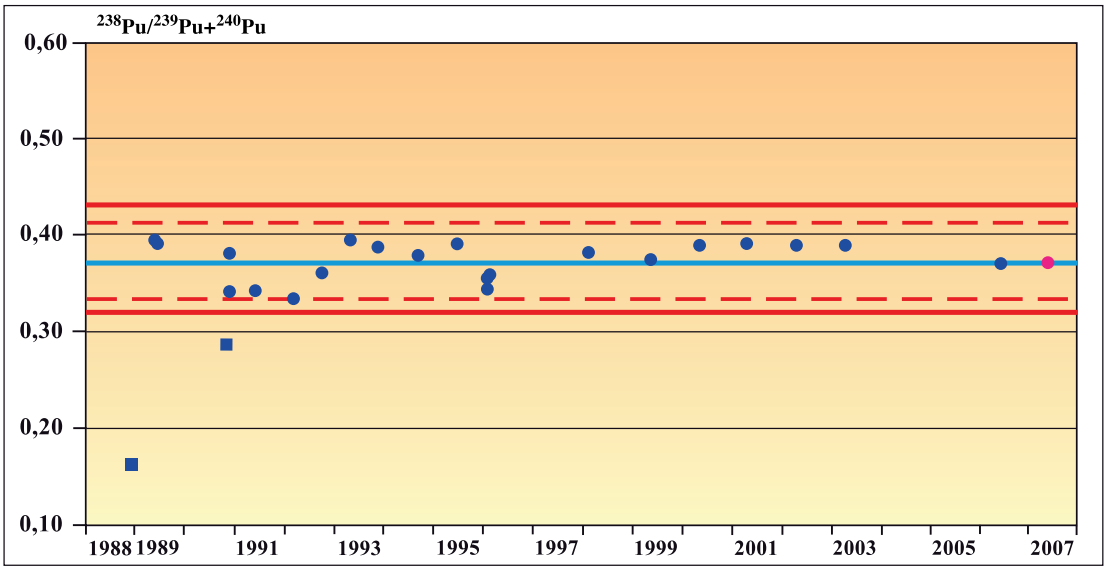


Figure IV.24. – Rapport des activités en ^{238}Pu / ^{239}Pu + ^{240}Pu dans le plancton du lagon à Fangataufa depuis 1988.

IV.4. - LE TROCA

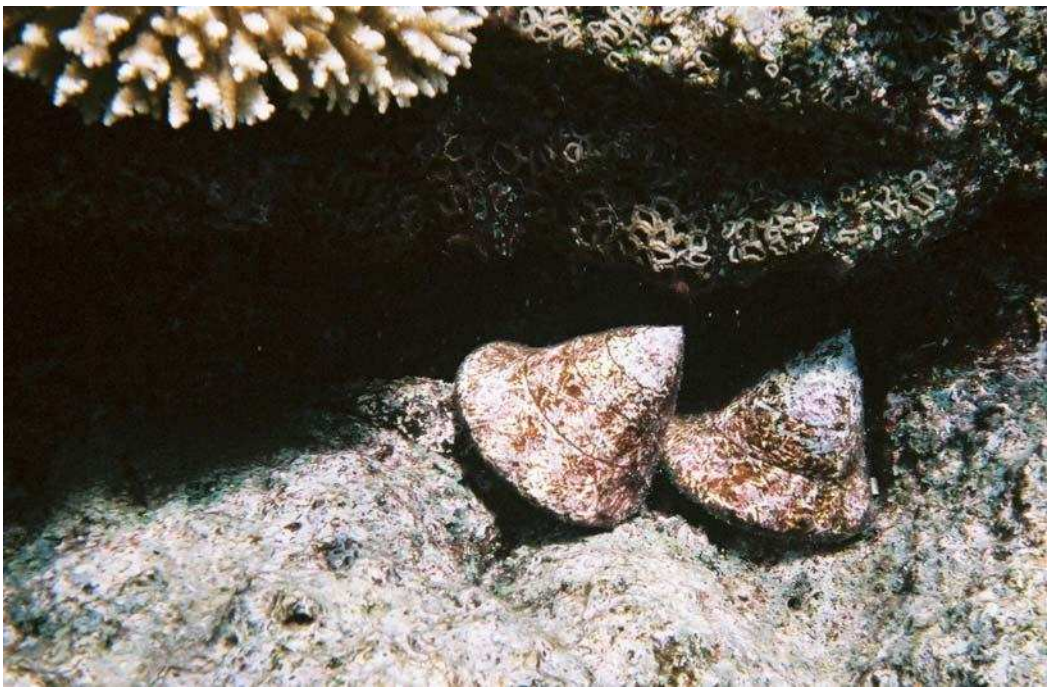
Le troca (*Trochus niloticus*) est un grand mollusque gastéropode de forme conique pouvant atteindre 15 centimètres de diamètre. Originaire d'Indonésie, il a été introduit dans les années 1950 à Tahiti et en 1958 dans les Tuamotu.

À Mururoa, 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.

IV.4.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Ce mollusque se ramasse aisément en apnée sur les pâtés de coraux entre 0,5 et 2 mètres de profondeur. On le prélève chaque année à Fangataufa et dans deux zones à Mururoa. Les coquilles sont cassées afin d'extraire l'animal. La partie musculaire, aussi appelée le pied, est prélevée jusqu'à obtention d'un poids de deux kilogrammes de chair.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement par spectrométrie γ. Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radioéléments émetteurs α et β contenus dans les cendres des échantillons.



Trocas (*Trochus niloticus*) dans leur habitat.

IV.4.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LE TROCA

Le tableau IV.8. et la figure IV.25. regroupent l'ensemble des résultats des analyses effectuées sur la chair de troca à Mururoa.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{60}Co	^{238}Pu	$^{239}Pu + ^{240}Pu$
Mururoa Est	28.03.07	81,5 ± 1,1	≤ 0,030	0,100 ± 0,032	0,074 ± 0,007	0,45 ± 0,04
Mururoa Sud	02.04.07	80,4 ± 5,3	≤ 0,036	0,032 ± 0,014	0,028 ± 0,003	0,16 ± 0,01
Fangataufa	14.04.07	71,8 ± 3,6	≤ 0,035	0,277 ± 0,021	0,788 ± 0,073	2,25 ± 0,21

Tableau IV.8. - Activité de la chair de troca exprimée en $Bq.kg^{-1}$ en 2007.

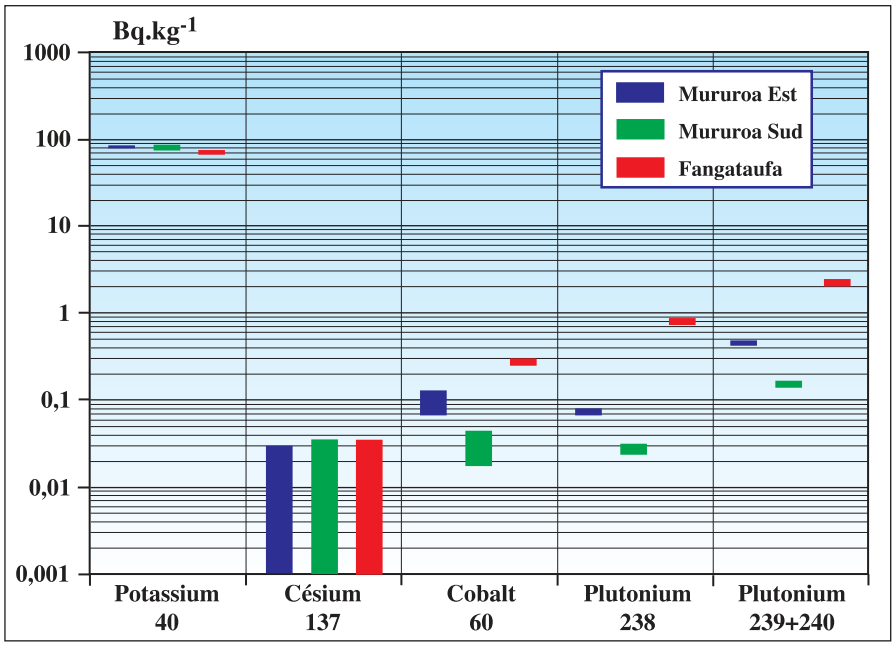


Figure IV.25. – Activité mesurée dans la chair de troca à Mururoa en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le potassium 40 est systématiquement mesuré dans les échantillons. La valeur moyenne est de 83 ± 1,3 Bq.kg^{-1} calculée sur 134 échantillons prélevés dans les deux lagons depuis 1986. L'intervalle de probabilité 99,7 % [61 ; 104] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs de 2007 qui varient entre 71,8 et 81,5 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle (Fig. IV.26.).

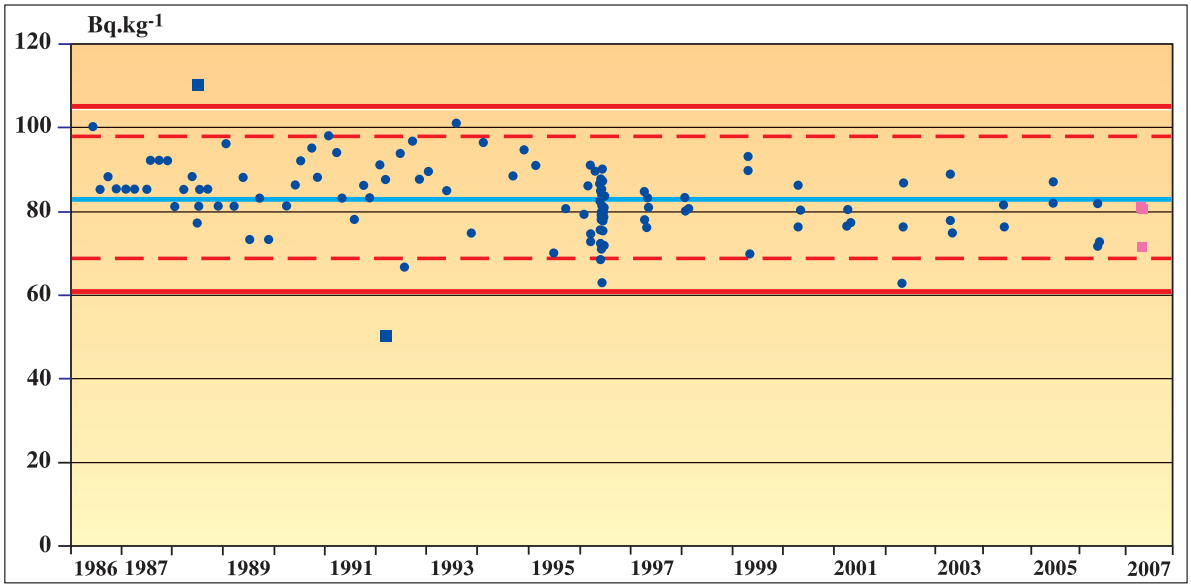


Figure IV.26. – Activité du potassium 40 dans la chair de troca depuis 1986.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137 et strontium 90

Comme les années précédentes dans les deux lagons, les mesures des activités en césium 137 ont donné des valeurs qui restent voisines des limites de détection (de 0,01 à 0,1 $Bq.kg^{-1}$).

Les valeurs mesurées en césium 137 étant inférieures à 0,5 $Bq.kg^{-1}$, le strontium n'a pas été analysé.

IV.4.2.1. - L'atoll de MURUROA

Cobalt 60

La figure IV.27. représente l'évolution depuis 1986 de l'activité en cobalt 60 dans les trocas de la zone Ouest de Mururoa (zone où les échantillons ont été prélevés le plus régulièrement).

Cette figure montre que l'activité en cobalt 60 dans le troca, diminue avec une période apparente de 4,4 ± 0,7 du même ordre de grandeur que la période radioactive (5,27 ans).

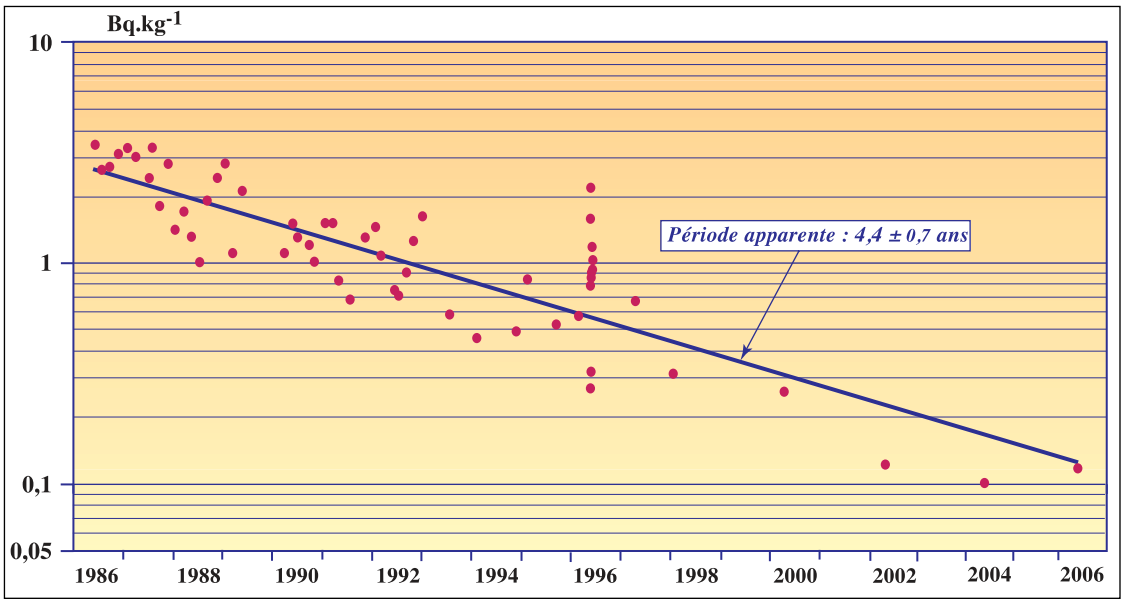


Figure IV.27. : Evolution de l'activité du cobalt 60 dans les trocas de la zone Ouest de Mururoa depuis 1986.

Compte tenu du fait que la radioactivité du cobalt 60 dans les trocas de la zone ouest décroît au cours du temps selon la période radioactive, les valeurs mesurées à Mururoa ont toutes été ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.28. donne, par année de prélèvement, les valeurs des 117 échantillons prélevés depuis 1986 ramenées au 1er mai 2007. La moyenne géométrique est de 0,17 $Bq.kg^{-1}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,035 ; 0,8] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur, mesurée sur l'échantillon de Mururoa Est, est comprise dans cet intervalle et celle de Mururoa Sud est légèrement en dehors de celui-ci.

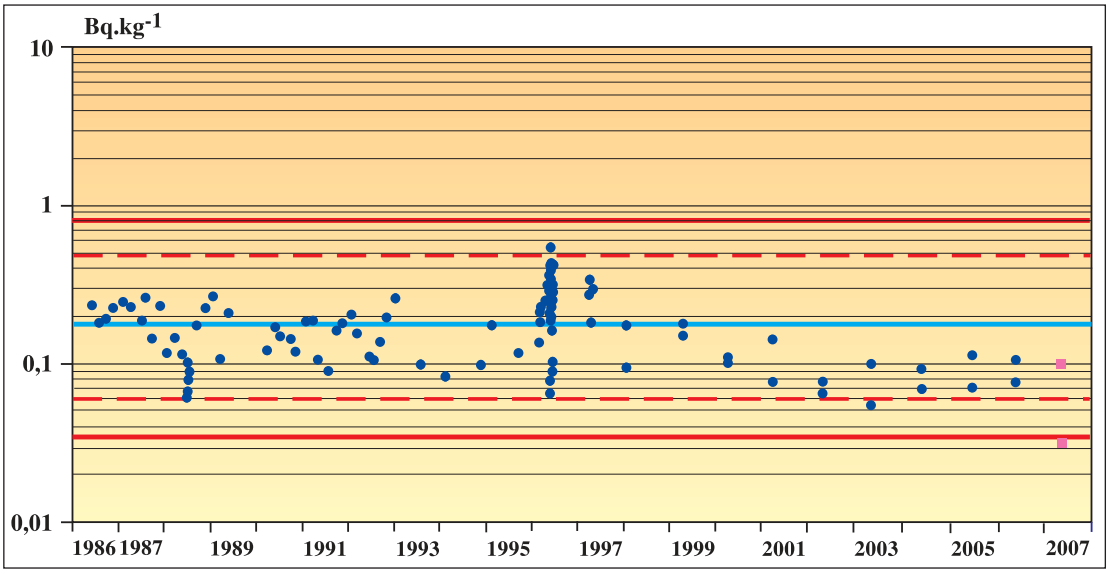


Figure IV.28. – Activité du cobalt 60 dans la chair de troca à Mururoa depuis 1986.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Plutonium 238

À l'aide de la période radioactive du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les 96 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.29. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,24 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,064 ; 0,92] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur de Mururoa Est (0,074) est comprise dans cet intervalle (limite inférieure) et celle de Mururoa Sud (0,028) est en dehors de celui-ci.

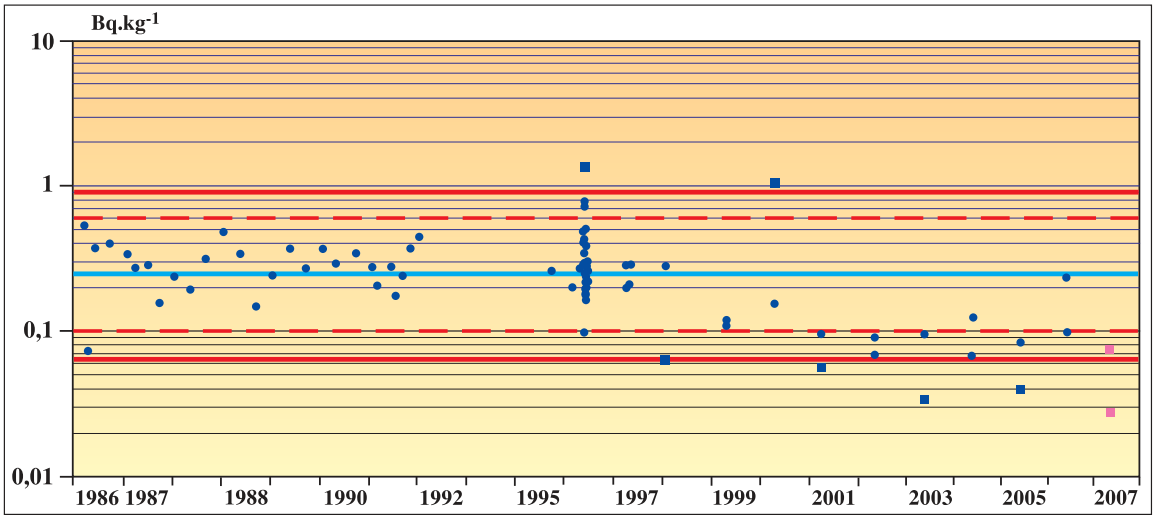


Figure IV.29. – Activité du plutonium 238 dans la chair de troca à Mururoa.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Plutonium 239 + plutonium 240

La moyenne géométrique est de 1,27 Bq.kg^{-1} calculée sur les 96 échantillons prélevés depuis 1986. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,23 ; 7,6] traduit la dispersion des valeurs (Fig. IV.30.).

La valeur de Mururoa Est (0,45) est comprise dans cet intervalle et celle de Mururoa Sud (0,16) est en dehors de celui-ci.

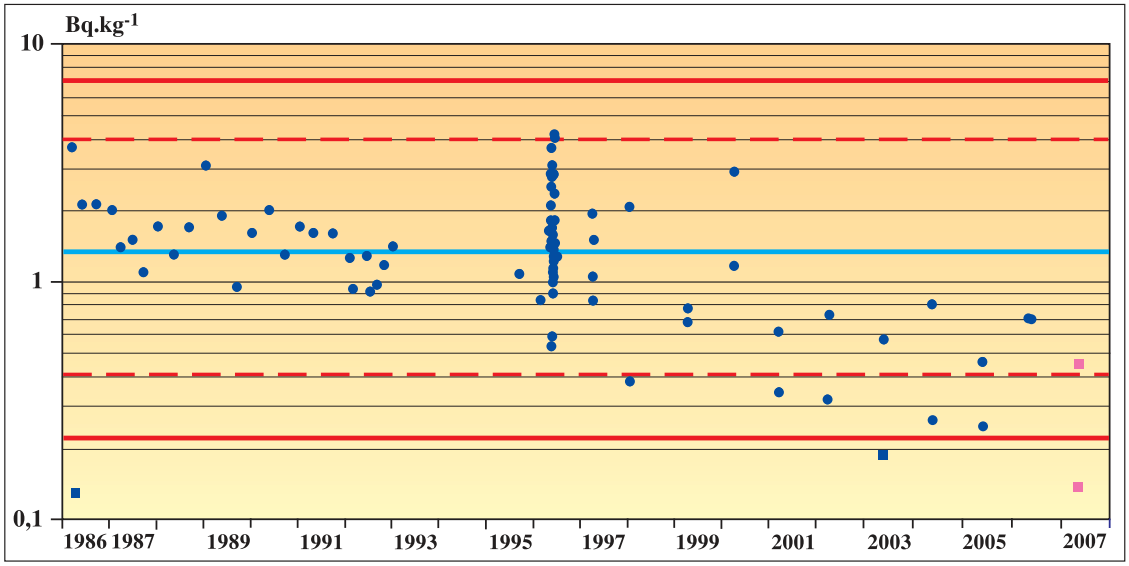


Figure IV.30. – Activité des plutonium 239 + 240 dans la chair de troca à Mururoa.

Rapport plutonium 238 / plutonium 239 + plutonium 240

Les rapports des activités en plutonium (^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu) est de :

- 0,16 ± 0,02 pour Mururoa Est,
- 0,17 ± 0,03 pour Mururoa Sud.

En calculant les rapports pour les années antérieures, nous avons identifié pour Mururoa trois populations :

- zones Est et Sud,
- zone Nord,
- zone Ouest.

Zones Est et Sud

La moyenne sur les 32 rapports calculés depuis 1996 est de 0,2 ± 0,01. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,13 ; 0,26] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2007 qui varient entre 0,16 et 0,17 sont comprises dans cet intervalle.

Zone Nord

La moyenne sur les 19 rapports calculés depuis 1996 est de 0,15 ± 0,01. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,06 ; 0,24] traduit la dispersion des résultats.

La figure IV.31. donne les valeurs calculées depuis 1996.

Dans cette zone, il n'y a pas eu de prélèvement cette année.

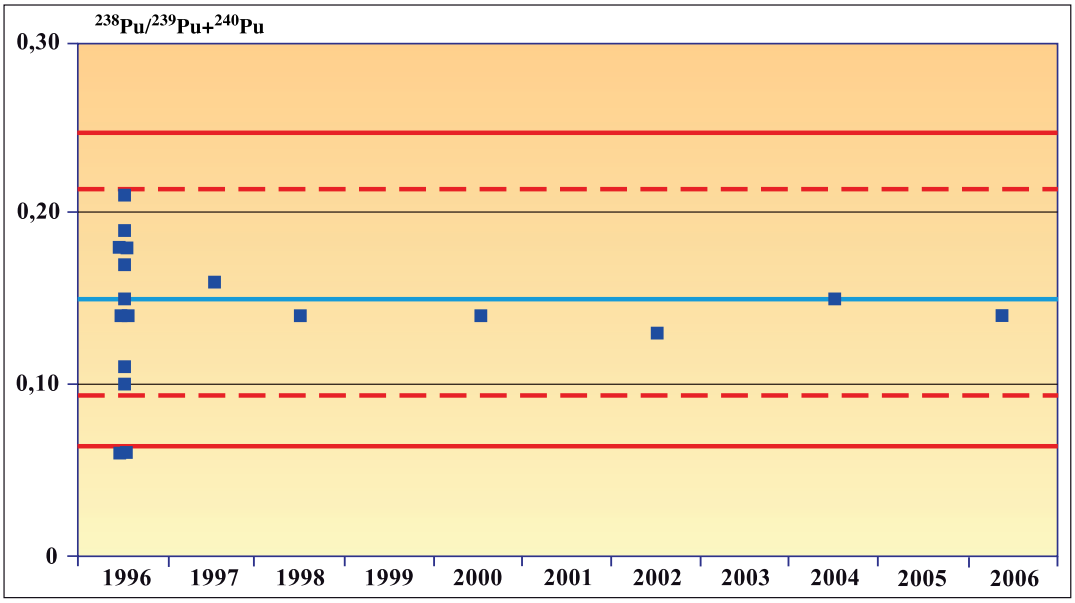


Figure IV.31. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans la chair de troca en zone Nord de Mururoa.

Zone Ouest

Les valeurs des rapports calculés dans cette zone présentent une grande dispersion par rapport aux autres zones et à Fangataufa.

La moyenne sur les 43 rapports calculés depuis 1986 est de 0,23 ± 0,02. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,05 ; 0,41] traduit la dispersion des résultats.

Il n'y a pas eu de prélèvement cette année dans cette zone.

La figure IV.32. donne les valeurs calculées depuis 1986.

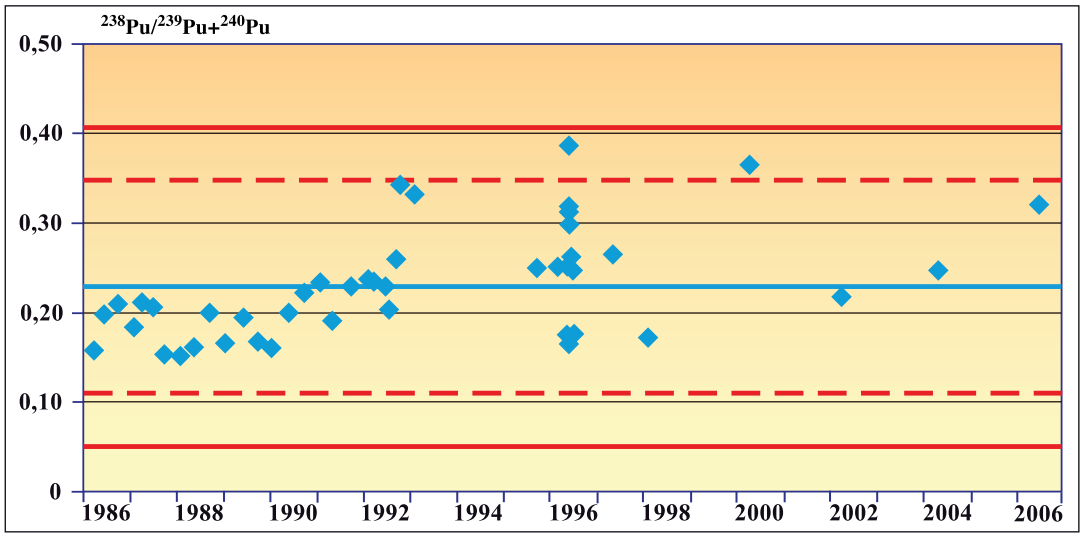


Figure IV.32. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans la chair de troca en zone Ouest de Mururoa.

IV.4.2.2. - L'atoll de FANGATAUFA

Cobalt 60

À l'aide de la période du Cobalt 60 (5,27 ans), les valeurs mesurées sur les 14 échantillons prélevés à Fangataufa depuis 1992 ont été ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.33. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,75 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,21 ; 2,73] traduit la dispersion des résultats. La valeur 2007 (0,28 Bq.kg^{-1}) est relativement faible pour cet échantillon prélevé à Fangataufa.

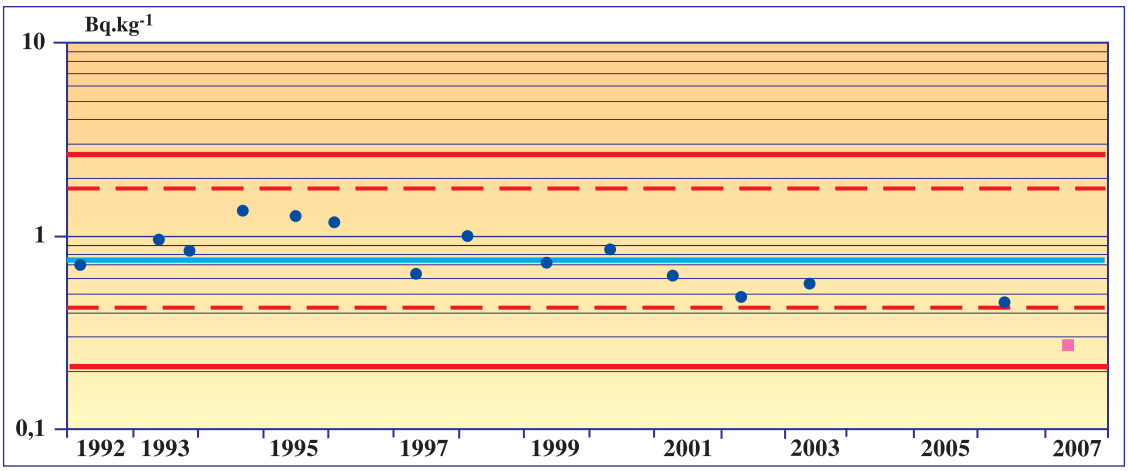


Figure IV.33. – Activité du cobalt 60 dans la chair de troca à Fangataufa depuis 1992.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Plutonium 238

À l'aide de la période radioactive du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les 12 échantillons prélevés depuis 1991 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.34. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,99 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,2 ; 4,85] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,79 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

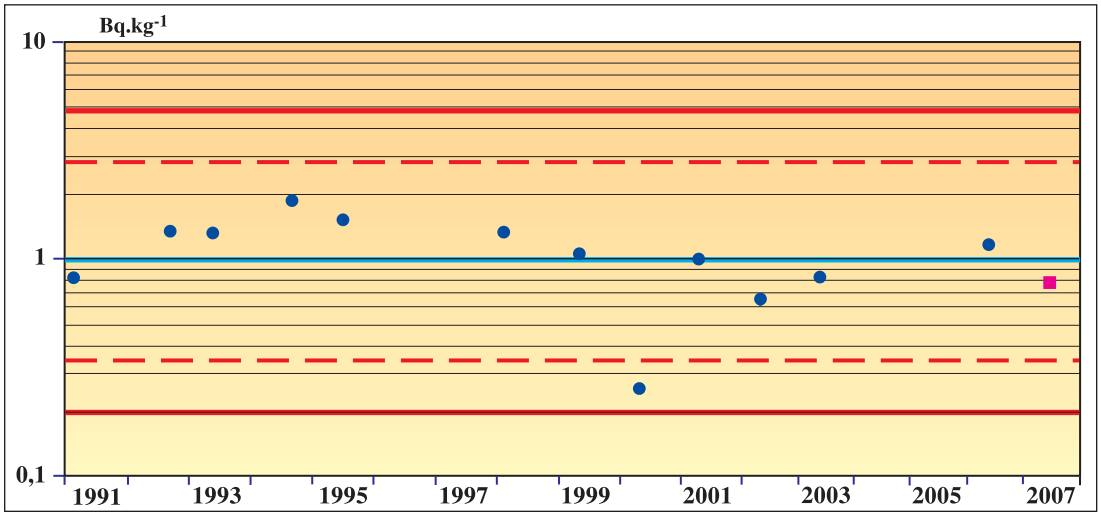


Figure IV.34. – Activité du plutonium 238 dans la chair de troca à Fangataufa.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Plutonium 239 + plutonium 240

La moyenne géométrique est de 2,7 $Bq.kg^{-1}$ calculée sur les 12 échantillons prélevés depuis 1991. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,8 ; 9,3] traduit la dispersion des valeurs (Fig. IV.35.). La valeur 2007 (2,25 $Bq.kg^{-1}$) est comprise dans cet intervalle.

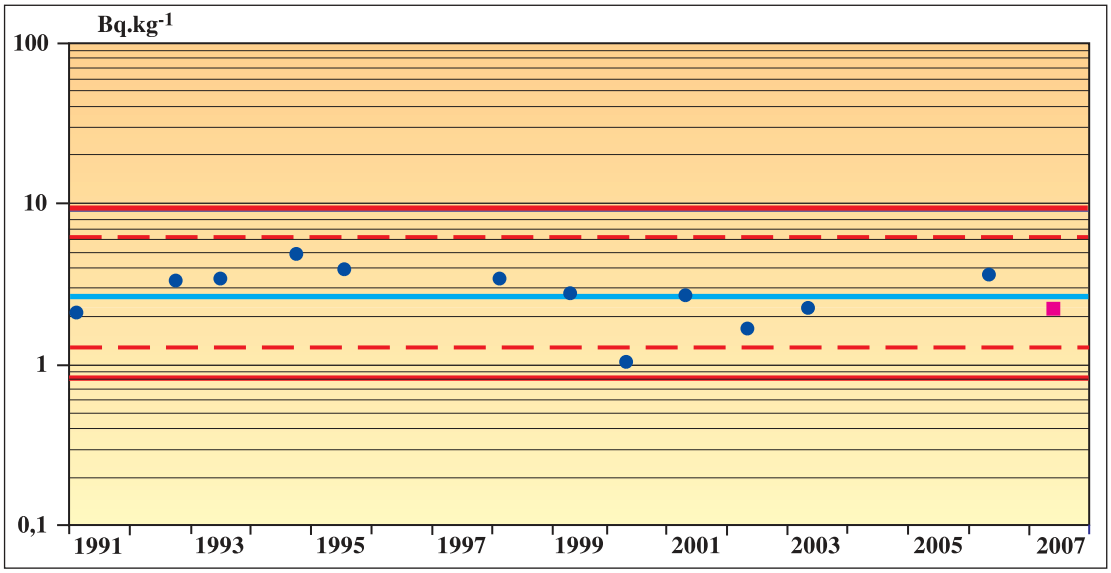


Figure IV.35. – Activité des plutonium 239 + 240 dans la chair de troca à Fangataufa.

Rapport plutonium 238 / plutonium 239 + plutonium 240

Le rapport des activités en plutonium ($^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu$) est de 0,35 ± 0,05.

La moyenne sur les 12 rapports calculés est de 0,38 ± 0,01. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,32 ; 0,44] traduit la dispersion des résultats.

La figure IV.36. donne les valeurs calculées depuis 1991.

La valeur 2007 (0,35) est comprise dans cet intervalle.

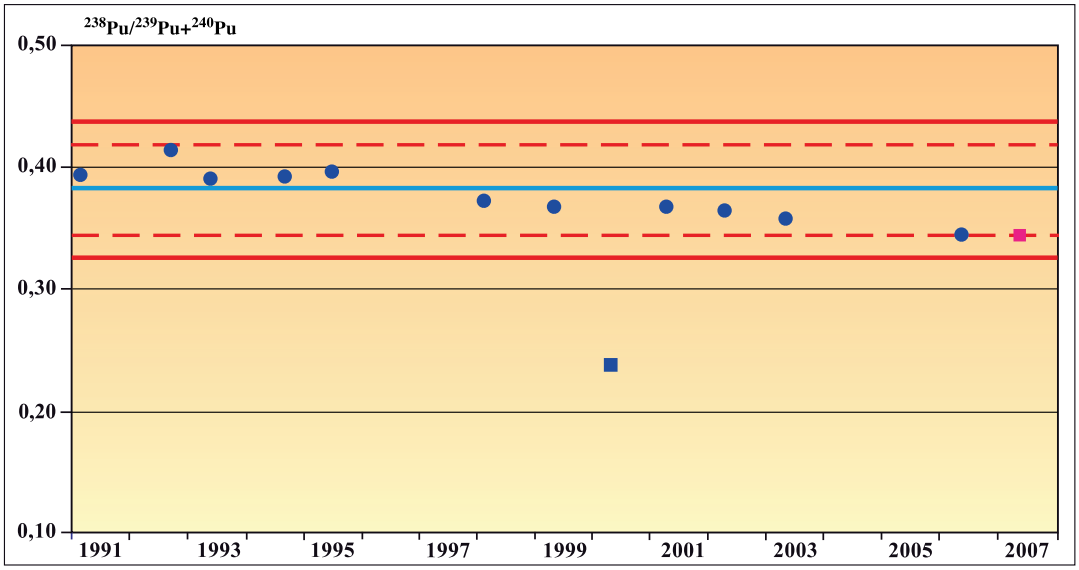


Figure IV.36. – Rapport des activités en ^{238}Pu / ^{239}Pu + ^{240}Pu dans la chair du troca à Fangataufa depuis 1991.

IV.5. - LE POISSON CHIRURGIEN

Le poisson chirurgien noir ou maito (*Ctenochaetus striatus*) est un poisson grégaire vivant partout où il existe 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 tel 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 très abondant dans toutes les zones à Mururoa. Il est plus rare à Fangataufa.

IV.5.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

La pêche s'effectue au moyen de fusils sous-marins par des plongeurs.

La cavité abdominale de chaque poisson pêché est vidée de ses viscères (tube digestif, foie, gonades…). Trois kilogrammes de chirurgien éviscéré sont nécessaires pour constituer un prélèvement. On le pêche chaque année à Fangataufa et dans deux zones à Mururoa.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement par spectrométrie γ. Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radioéléments émetteurs α et β contenus dans les cendres des échantillons.

L'édition 2003 du « Guide de Surveillance Radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa » précise que, pour le chirurgien, la mesure du strontium 90 ne sera effectuée que si le césium 137 présente une activité supérieure à 0,5 $Bq.kg^{-1}$.

Poisson chirurgien noir ou maito dans son habitat.

Préparation du prélèvement du chirurgien.

IV.5.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LE CHIRURGIEN

Le tableau IV.9. et la figure IV.37. présentent les résultats de mesure de la radioactivité dans le chirurgien éviscéré en 2007.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{60}Co	^{238}Pu	$^{239}Pu + ^{240}Pu$
Mururoa Est	27.03.07	89 ± 3,2	0,070 ± 0,011	0,055 ± 0,004	0,006 ± 0,002	0,021 ± 0,004
Mururoa Sud	02.04.07	101 ± 5	0,086 ± 0,036	≤ 0,052	0,011 ± 0,003	0,042 ± 0,005
Fangataufa	17.03.07	90,3 ± 5	0,077 ± 0,010	0,223 ± 0,039	0,039 ± 0,005	0,116 ± 0,010

Tableau IV.9. : Activité mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré exprimée en Bq.kg^{-1} en 2007.

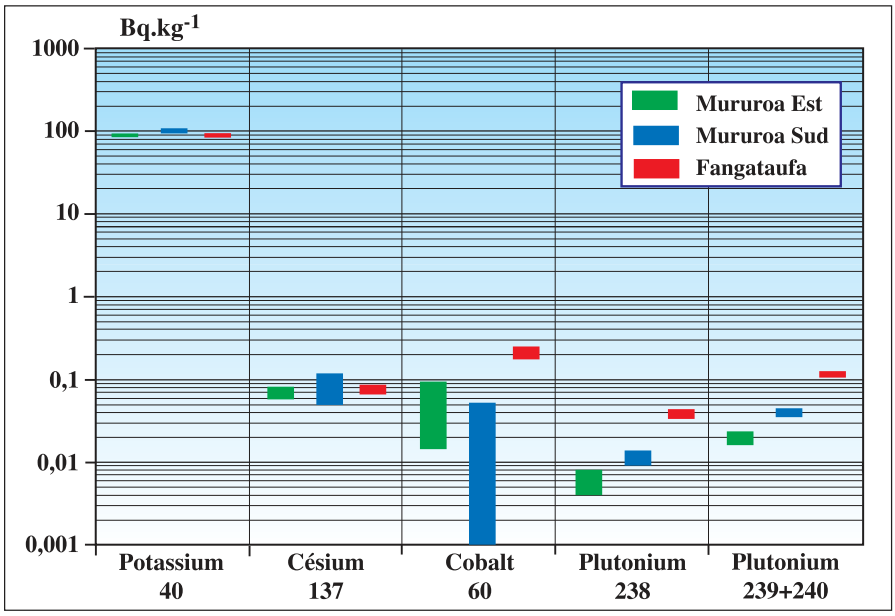


Figure IV.37. – Activité mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le potassium 40, systématiquement mesuré dans les échantillons, présente une valeur moyenne de 94,3 ± 0,6 Bq.kg^{-1} calculée sur les 567 échantillons prélevés à Fangataufa et Mururoa depuis 1986. L'intervalle de probabilité 99,7 % [73 ; 116] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des valeurs (Fig. IV.38.).

Les valeurs mesurées cette année qui varient entre 89 et 101 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

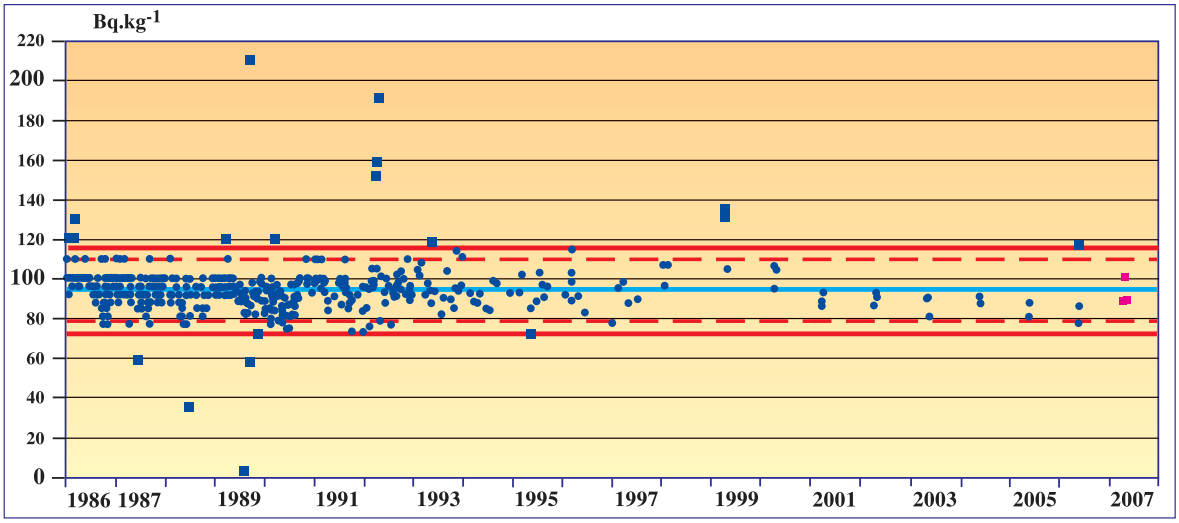


Figure IV.38. – Activité du potassium 40 dans le poisson chirurgien éviscéré prélevé à Mururoa et à Fangataufa depuis 1986.

Radioactivité d'origine artificielle

IV.5.2.1. - L'atoll de MURUROA

Césium 137

La figure IV.39. présente la radioactivité du césium 137 des 535 échantillons de chirurgiens prélevés à Mururoa depuis 1986 et permet de mettre en évidence une décroissance de cette activité selon une période apparente d'environ 9,6 ± 1,8 ans, décroissance 3 fois plus rapide que celle du césium 137 (30,15 ans).

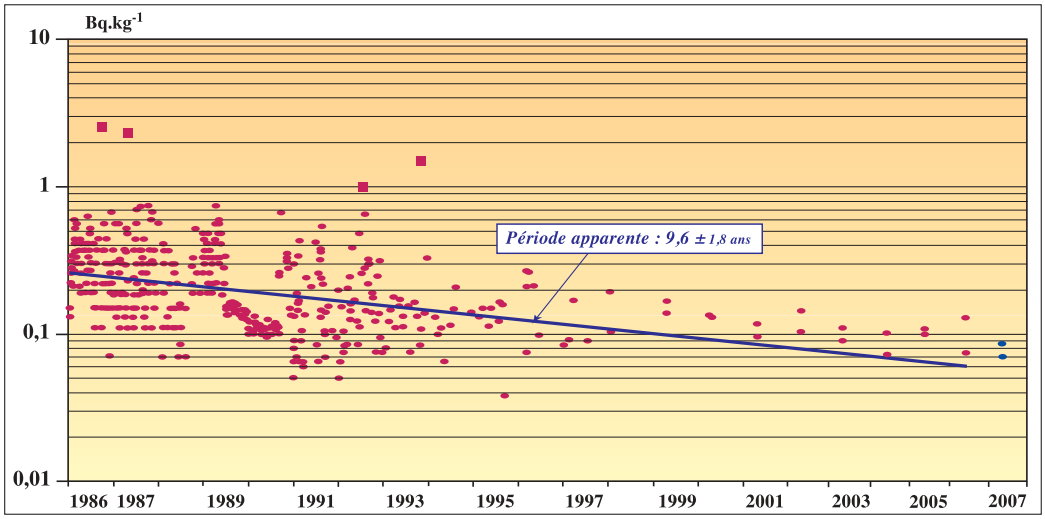


Figure IV.39. – Evolution de l'activité du césium 137 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Mururoa.

À l'aide de cette période apparente de 9,6 ans, les valeurs mesurées sur les 537 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.40. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,06 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,011 ; 0,26] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2007 (0,07 et 0,09 Bq.kg^{-1}) sont comprises dans cet intervalle.

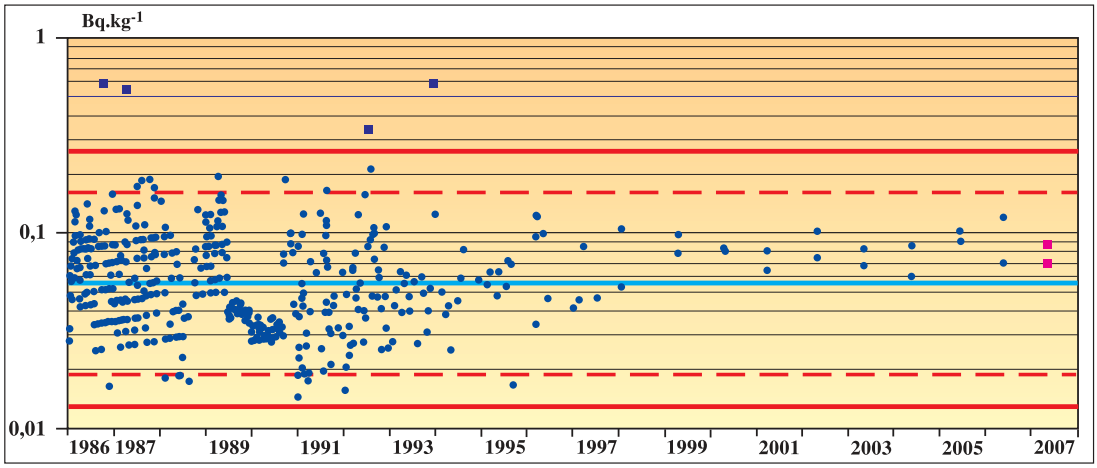


Figure IV.40. – Activité du césium 137 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Mururoa (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Strontium 90

L'activité en césium 137 dans le poisson chirurgien éviscéré étant inférieure à 0,5 Bq.kg^{-1}, la mesure sur le strontium 90 n'a pas été réalisée.

Cobalt 60

La figure IV.41. présente la radioactivité en cobalt 60 sur les échantillons de chirurgien prélevés à Mururoa depuis 1986. Elle permet de mettre en évidence une décroissance de cette activité selon une période apparente d'environ 3,6 ± 0,3 ans, période légèrement inférieure à celle du cobalt 60 (5,27 ans).

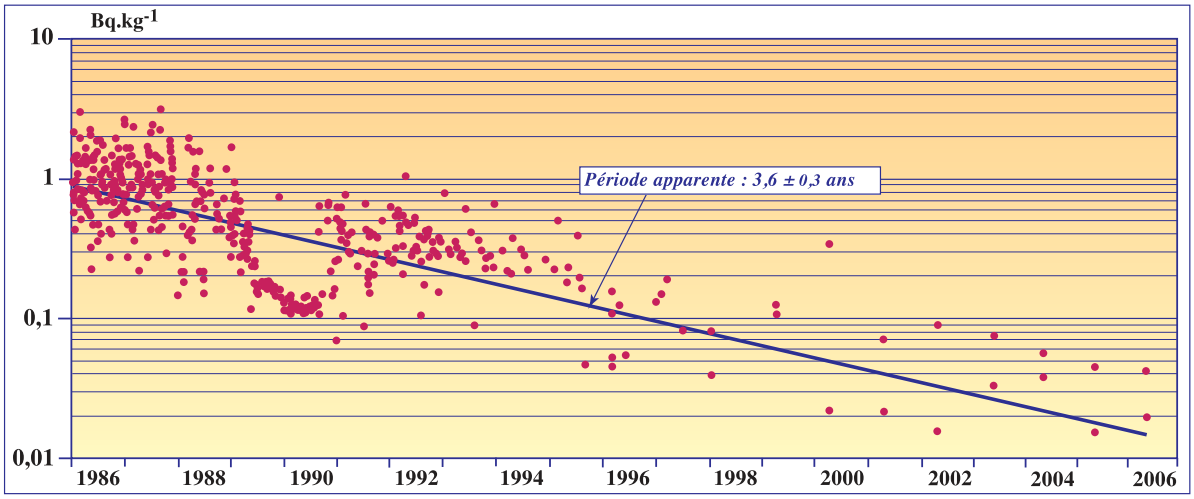


Figure IV.41. – Evolution de l'activité du cobalt 60 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Mururoa.

À l'aide de cette période apparente de 3,6 ans, les valeurs mesurées sur les 536 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.42. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,013 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 0,11] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2007 (≤ 0,052 et 0,055 Bq.kg^{-1}) sont comprises dans cet intervalle.

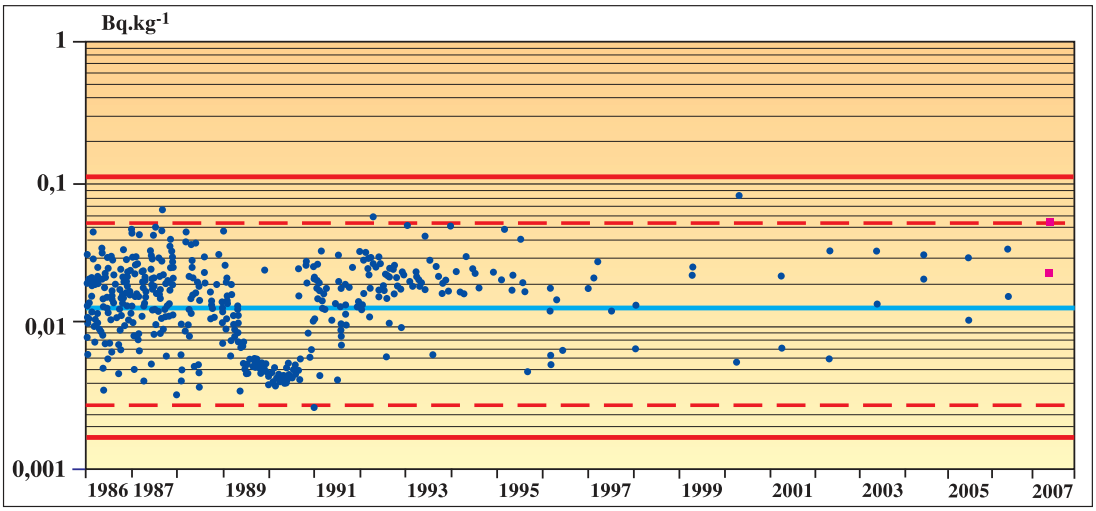


Figure IV.42. – Activité du cobalt 60 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Mururoa (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Plutonium 238

À l'aide de la période du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les 224 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.43. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,023 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 0,22] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2007 (0,005 et 0,011 Bq.kg^{-1}) sont comprises dans cet intervalle.

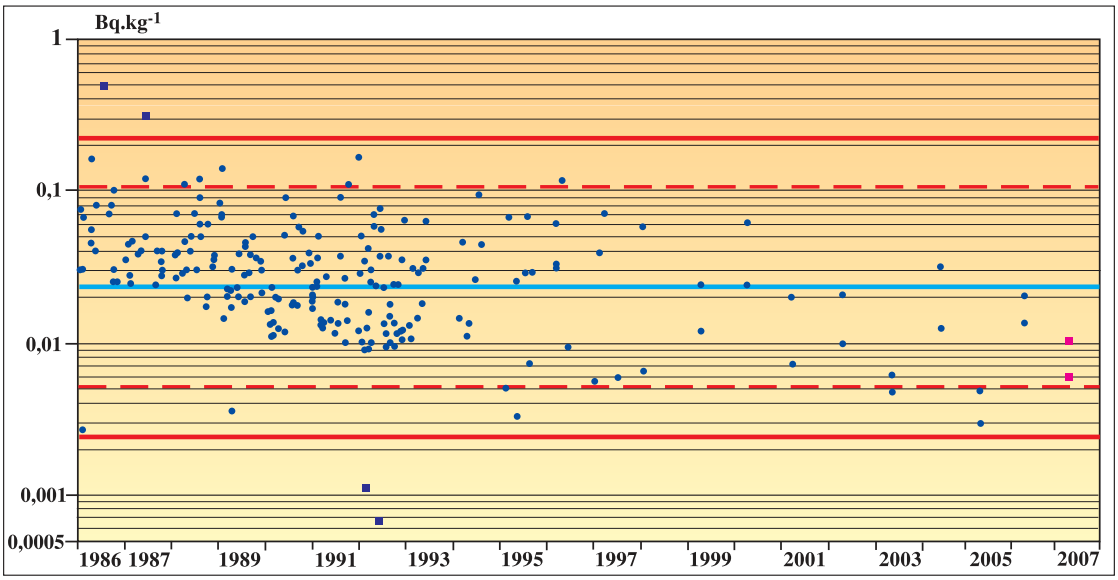


Figure IV.43. – Activité du plutonium 238 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Mururoa (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Plutonium 239 + plutonium 240

La moyenne de l'activité des plutonium 239 et plutonium 240 est de 0,14 $Bq.kg^{-1}$. Elle est calculée sur les 224 échantillons prélevés à Mururoa depuis 1986. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,003 ; 6,3] $Bq.kg^{-1}$ traduit la dispersion des résultats (Fig. IV.44.).

Les valeurs 2007 (0,02 et 0,04 $Bq.kg^{-1}$) sont comprises dans cet intervalle.

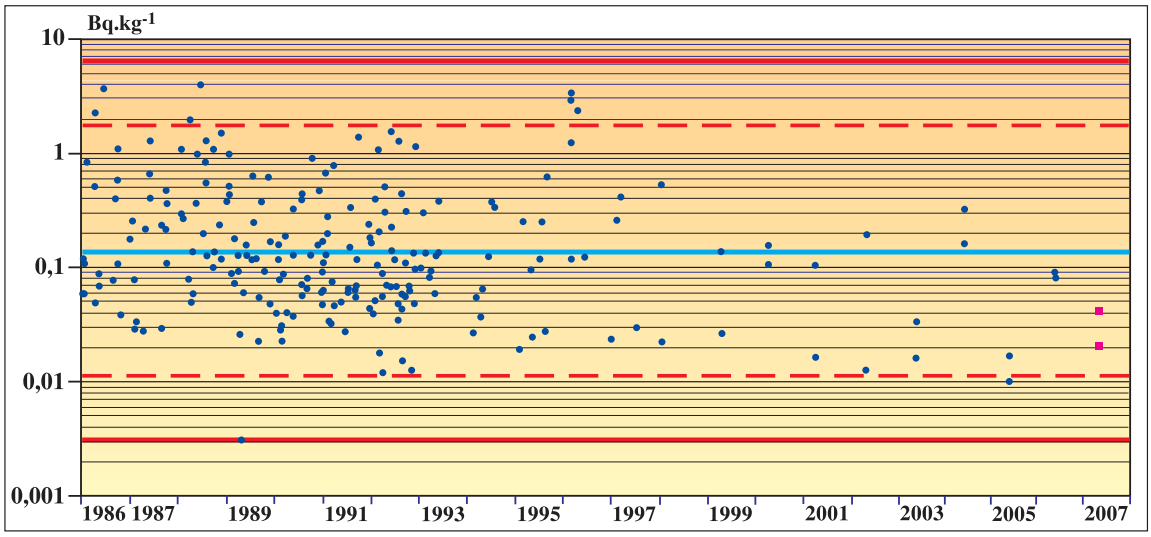


Figure IV.44. – Activité des plutonium 239 + 240 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Mururoa.

Rapport Plutonium 238/Plutonium 239 + plutonium 240

Les rapports des activités en plutonium ($^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu$) en 2006 est de :

- 0,27 ± 0,11 pour Mururoa Est,
- 0,26 ± 0,07 pour Mururoa Sud.

En calculant les rapports pour les années antérieures, nous avons identifié pour Mururoa deux populations :

- zones Est, Sud et Ouest
- zone Nord.

Les figures, montrant les rapports des activités, ne sont pas présentées en échelle linéaire car la population ne semble pas suivre une loi normale.

Zones Est, Sud et Ouest

Sur l'ensemble des 57 rapports calculés depuis 1986, la moyenne géométrique est de 0,26. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,07 ; 1,02] traduit la dispersion des résultats. Les valeurs 2007 (0,26 et 0,27) sont comprises dans cet intervalle.

La figure IV.45. donne les valeurs calculées depuis 1986.

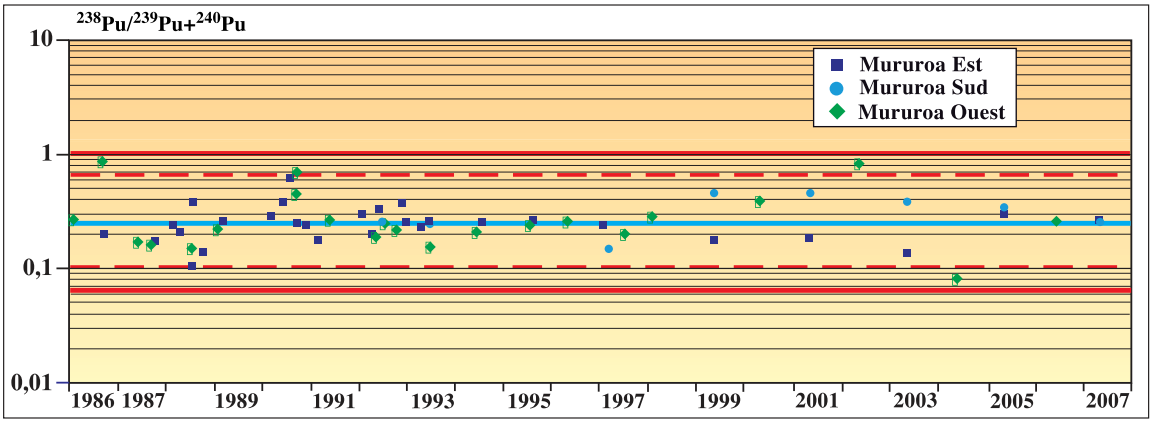


Figure IV.45. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans le poisson chirurgien éviscéré des zones Est, Sud et Ouest de Mururoa.

Zone Nord

Sur l'ensemble des 38 rapports calculés depuis 1986, la moyenne géométrique est de 0,07. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,006 ; 0,86] traduit la dispersion des résultats.

En 2007, il n'y a pas eu de prélèvement.

La figure IV.46. donne les valeurs calculées depuis 1996.

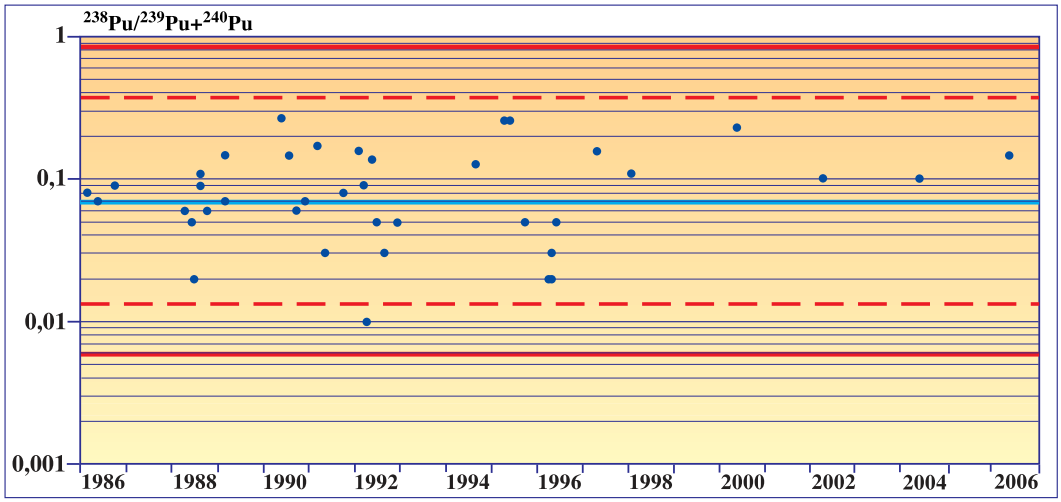


Figure IV.46. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans le poisson chirurgien éviscéré en zone Nord de Mururoa.

IV.5.2.2. - L'atoll de FANGATAUFA

Césium 137

À l'aide de cette période apparente de 9,6 ans, les valeurs mesurées sur les 31 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.47. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,09 $Bq.kg^{-1}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,02 ; 0,4] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,077 $Bq.kg^{-1}$) est comprise dans cet intervalle.

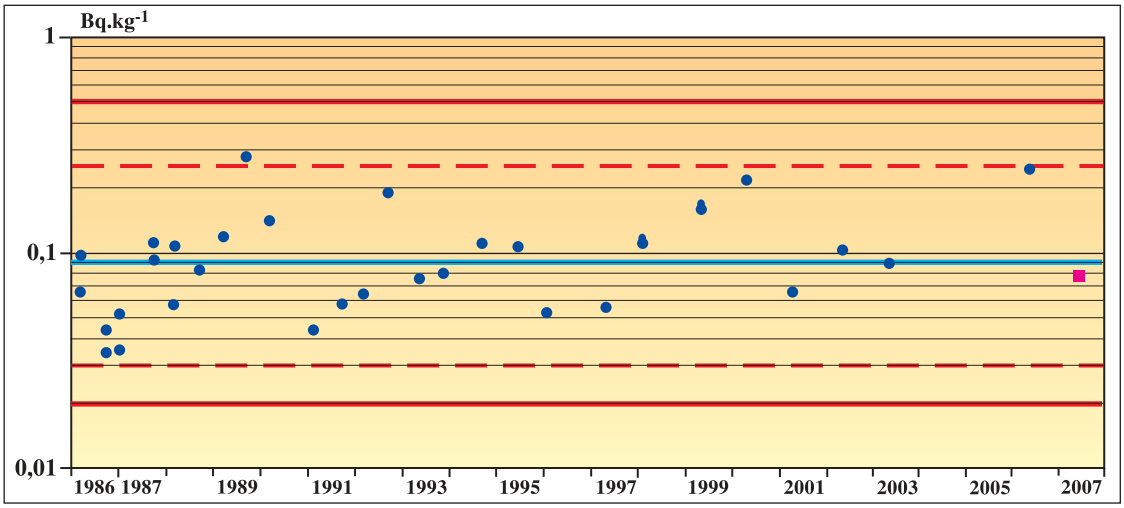


Figure IV.47. – Activité du césium 137 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Fangataufa (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Strontium 90

L'activité en césium 137 dans le poisson chirurgien éviscéré étant inférieure à 0,5 Bq.kg^{-1}, la mesure sur le strontium 90 n'a pas été réalisée.

Cobalt 60

À l'aide de cette période apparente de 3,6 ans, les valeurs mesurées sur les 31 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.48. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,09 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,004 ; 2,2] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,22 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

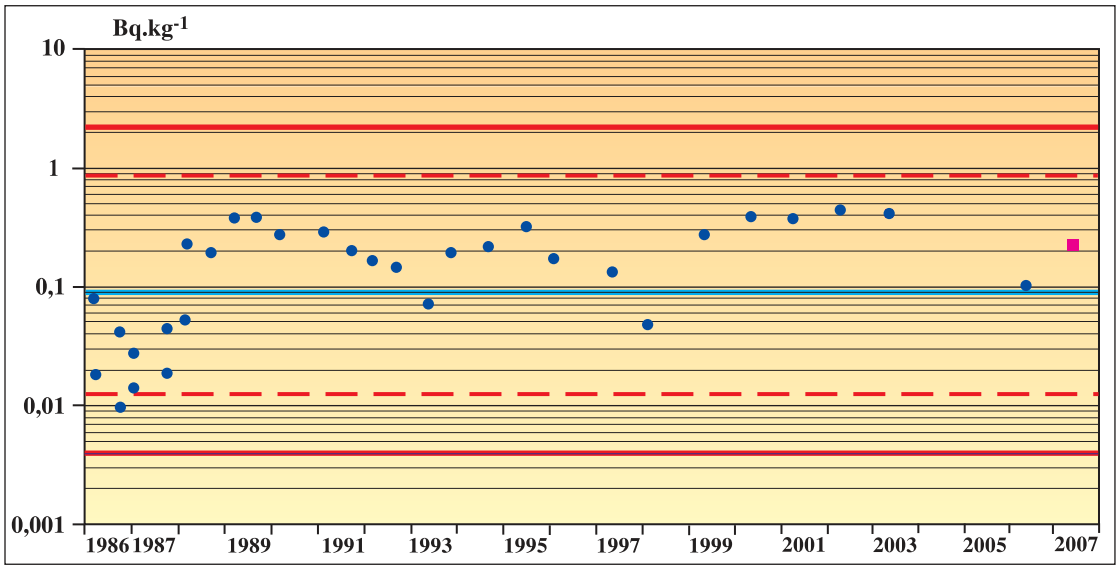


Figure IV.48. – Activité du cobalt 60 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Fangataufa (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Plutonium 238

À l'aide de la période du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les 20 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.49. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,05 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,003 ; 0,83] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,039 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

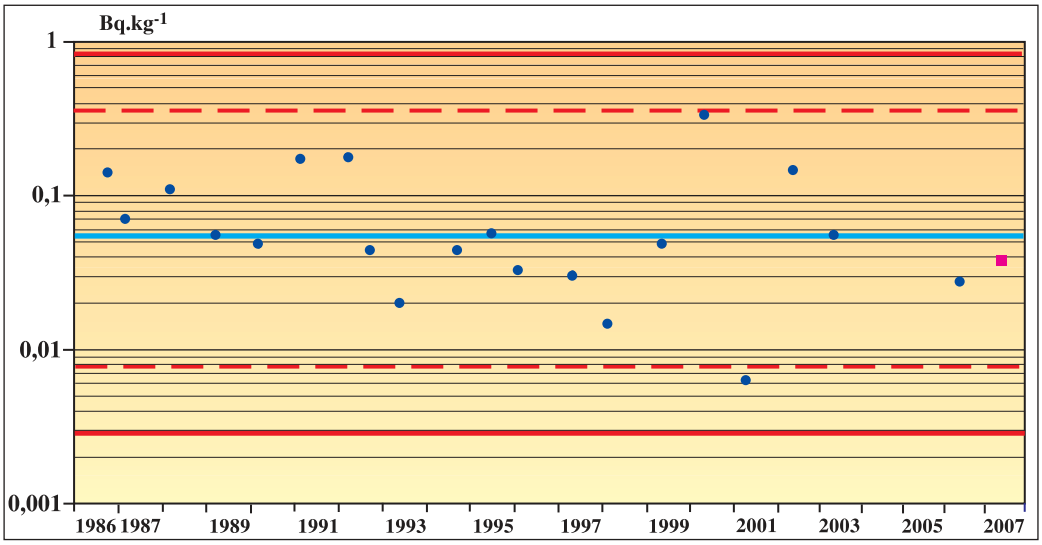


Figure IV.49. – Activité du plutonium 238 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Fangataufa (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Plutonium 239 + plutonium 240

Cette valeur, sur 20 échantillons prélevés à Fangataufa depuis 1986, est de 0,16 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,013 ; 1,92] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats (Fig. IV.50.).

La valeur 2007 (0,116 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

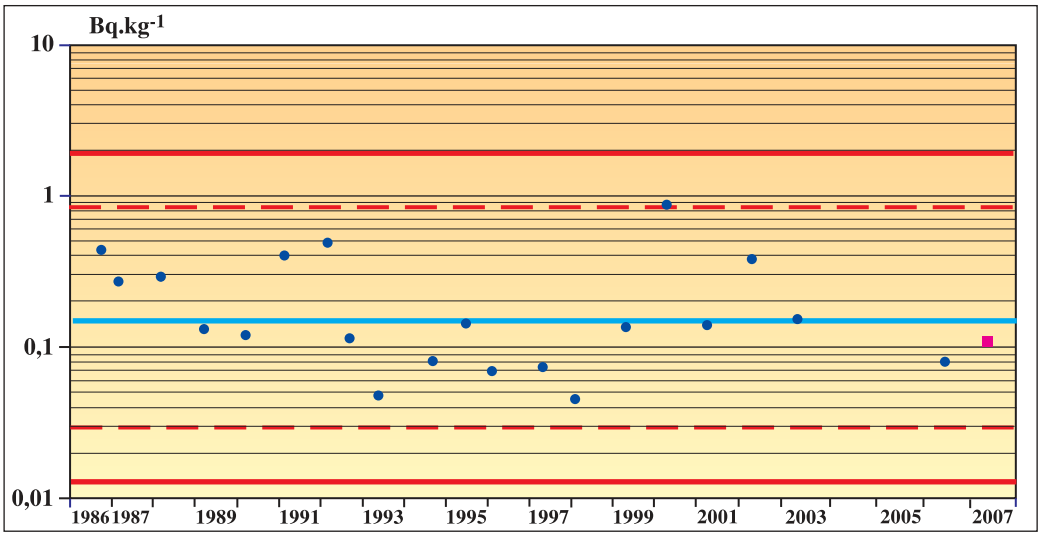


Figure IV.50. – Activité des plutonium 239 + 240 mesurée dans le poisson chirurgien éviscéré depuis 1986 à Fangataufa.

Rapport plutonium 238 / plutonium 239 + plutonium 240

Sur l'ensemble des 17 rapports calculés depuis 1986, la moyenne est de 0,38 ± 0,03. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,23 ; 0,54] traduit la dispersion des résultats.

La figure IV.51. donne les valeurs calculées depuis 1986.

La valeur 2007 (0,34) est comprise dans cet intervalle.

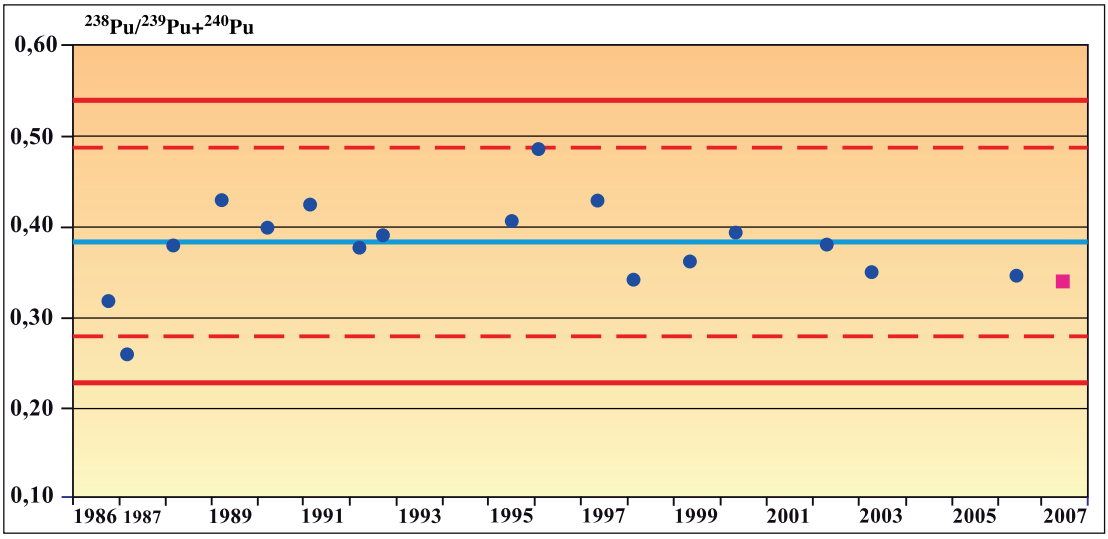


Figure IV.51. – Rapport des activités en ^{238}Pu / ^{239}Pu + ^{240}Pu dans le poisson chirurgien éviscéré à Fangataufa depuis 1986.

IV.6. - LE MEROU

Le mérou céleste (*Cephalopholis argus*), la loche crasseuse (*Epinephelus microdon*) et la loche léopard (*Plectropomus leopardus*) sont des poissons carnivores. Ce 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. Dans la chaîne trophique, ils occupent la place de consommateurs tertiaires et quaternaires selon la nature des proies.

IV.6.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

La pêche s'effectue chaque année à Fangataufa et dans deux zones à Mururoa au moyen de fusils sous-marins par des plongeurs en apnée. Les poissons sont disséqués afin de prélever les filets jusqu'à obtention de trois kilogrammes.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie γ. Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radioéléments émetteurs α et β contenus dans les cendres des échantillons.

Mérou *Plectropomus leopardus* (tonu en polynésien) dans le lagon de Mururoa.

IV.6.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LE MEROU

La radioactivité dans le mérou n'est contrôlée que depuis 1993. Depuis cette date, 33 prélèvements ont été mesurés (23 à Mururoa et 10 à Fangataufa).

Le tableau IV.10. et la figure IV.52. présentent les résultats de 2007.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu
Mururoa Est	27.03.07	132 ± 7	0,292 ± 0,039	≤ 0,043	≤ 0,039	≤ 0,00120	≤ 0,00091
Mururoa Sud	02.04.07	140 ± 7	0,407 ± 0,035	≤ 0,039	≤ 0,030	≤ 0,00220	≤ 0,00130
Fangataufa	16.04.07	152 ± 10	0,472 ± 0,052	≤ 0,034	≤ 0,054	≤ 0,00110	≤ 0,00100

Tableau IV.10. – Activité dans la chair de mérou exprimée en Bq.kg^{-1} en 2007.

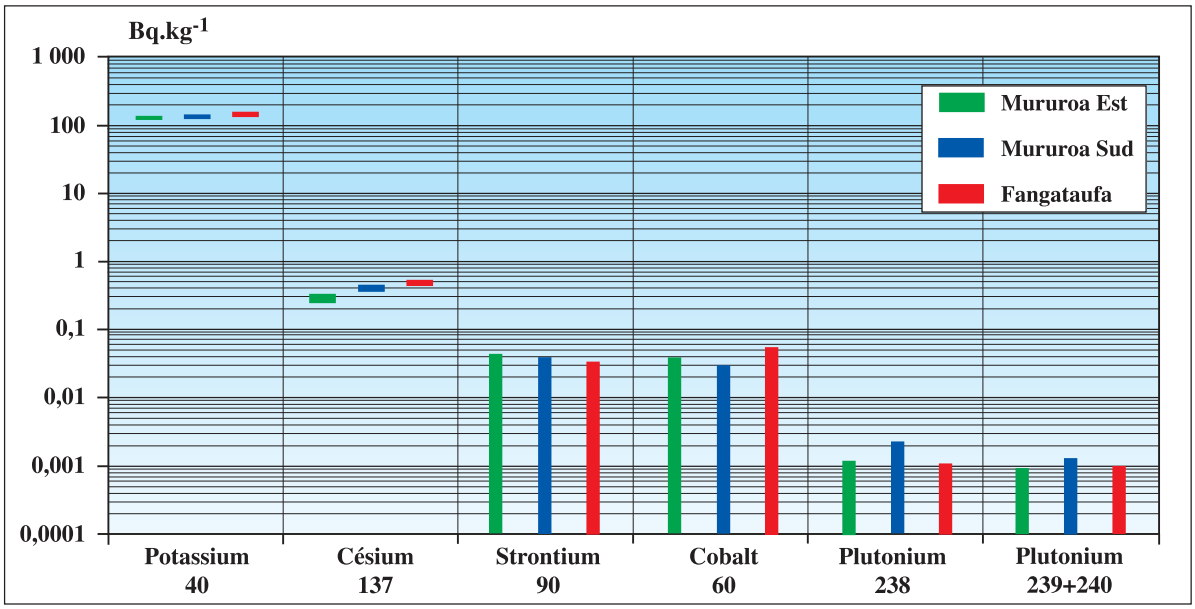


Figure IV.52. - Activité dans la chair de mérou en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le potassium 40, systématiquement mesuré dans les échantillons, présente une valeur moyenne de 138 ± 5 $Bq.kg^{-1}$ calculée sur 33 échantillons prélevés depuis 1993.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [93 ; 183] $Bq.kg^{-1}$ traduit la dispersion des valeurs (Fig. IV.53.).

Les résultats de 2007 qui varient entre 132 et 152 $Bq.kg^{-1}$ sont compris dans cet intervalle.

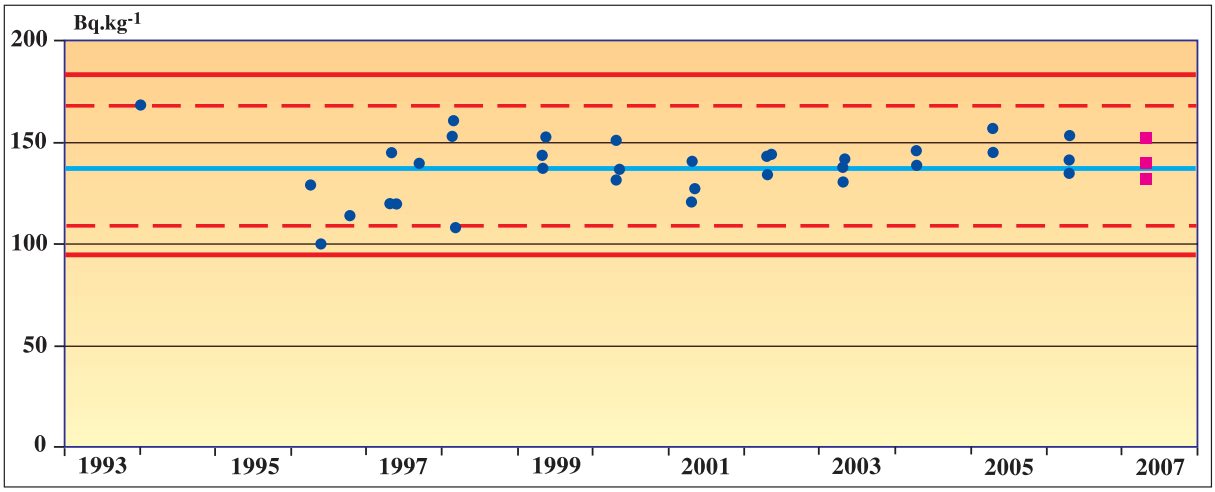


Figure IV.53. – Activité du potassium 40 dans la chair de mérou prélevée à Mururoa et à Fangataufa depuis 1993.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137

À l'aide de la période du césium 137 (30,15 ans), les valeurs mesurées sur les 33 échantillons prélevés depuis 1993 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure IV.54. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,3 $Bq.kg^{-1}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,06 ; 1,75] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2007 qui varient entre 0,29 et 0,47 $Bq.kg^{-1}$ sont comprises dans cet intervalle.

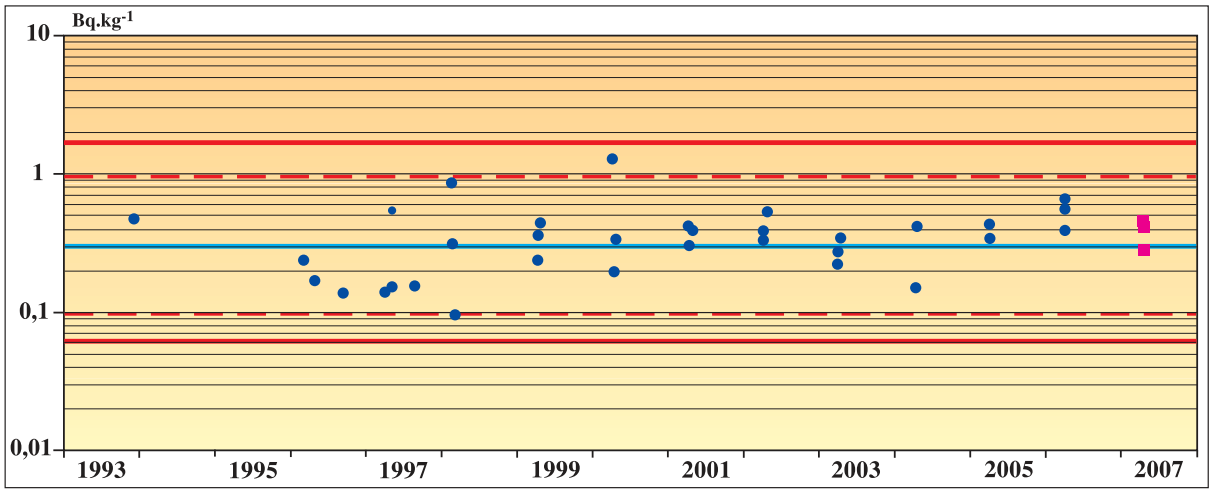


Figure IV.54. – Activité du césium 137 dans la chair de mérou prélevée à Mururoa et à Fangataufa depuis 1993. (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Strontium 90, cobalt 60, plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240

Les activités mesurées dans les mérous dans les deux atolls, en 2007, sont comme les années précédentes inférieures ou proches des limites de détection des appareils de mesure.

Chapitre V
SURVEILLANCE DU PLATIER EXTERNE ET DES FLANCS D'ATOLL

V.1. - LE TURBO SOYEUX

Le turbo (*Turbo setosus*) est un gastéropode herbivore très répandu en Polynésie. 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.

V.1.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Ce gastéropode se ramasse à pied sur le front du récif externe à marée basse. Les coquilles sont ensuite cassées pour extraire l'animal. Seuls les muscles du pied (appelés par convention chair) sont conservés jusqu'à l'obtention de deux kilogrammes. On le ramasse à Fangataufa et dans deux zones par an à Mururoa.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie γ. Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radioéléments émetteurs α et β contenus dans les cendres des échantillons.

Les résultats antérieurs de Fangataufa étant traités globalement avec ceux de Mururoa, ils sont présentés dans le corps du rapport.

Ramassage des turbos sur le platier externe.

Turbos soyeux dans leur habitat.

V.1.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LE TURBO

Le tableau V.1. et la figure V.1. présentent les résultats de mesure de la radioactivité dans la chair de turbo en 2007.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu
Mururoa Nord	07.04.07	90,1 ± 4,4	≤ 0,033	≤ 0,072	≤ 0,042	0,0114 ± 0,0023	0,0138 ± 0,0022
Mururoa Sud	10.04.07	95,1 ± 4,7	≤ 0,036	≤ 0,033	≤ 0,046	0,0030 ± 0,0010	0,0203 ± 0,0038
Fangataufa	13.04.07	90,4 ± 5	≤ 0,044	≤ 0,032	≤ 0,033	0,0079 ± 0,0018	0,0255 ± 0,0046

Tableau V.1. - Activité dans la chair du turbo soyeux exprimée en Bq.kg^{-1} en 2007.

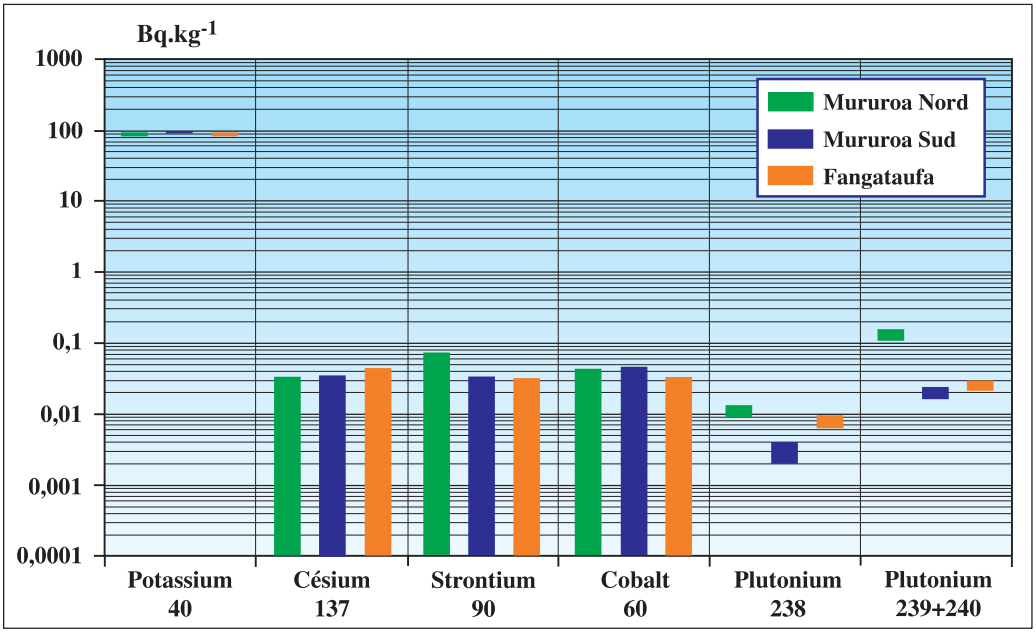


Figure V.1. - Activité dans la chair du turbo soyeux en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le potassium 40, systématiquement mesuré, présente une valeur moyenne de 103 ± 2,5 Bq.kg^{-1} calculée sur les 85 échantillons récoltés depuis 1986.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [69 ; 137] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des valeurs (Fig. V.2.).

Les valeurs de 2007 qui varient entre 90,1 et 95,1 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

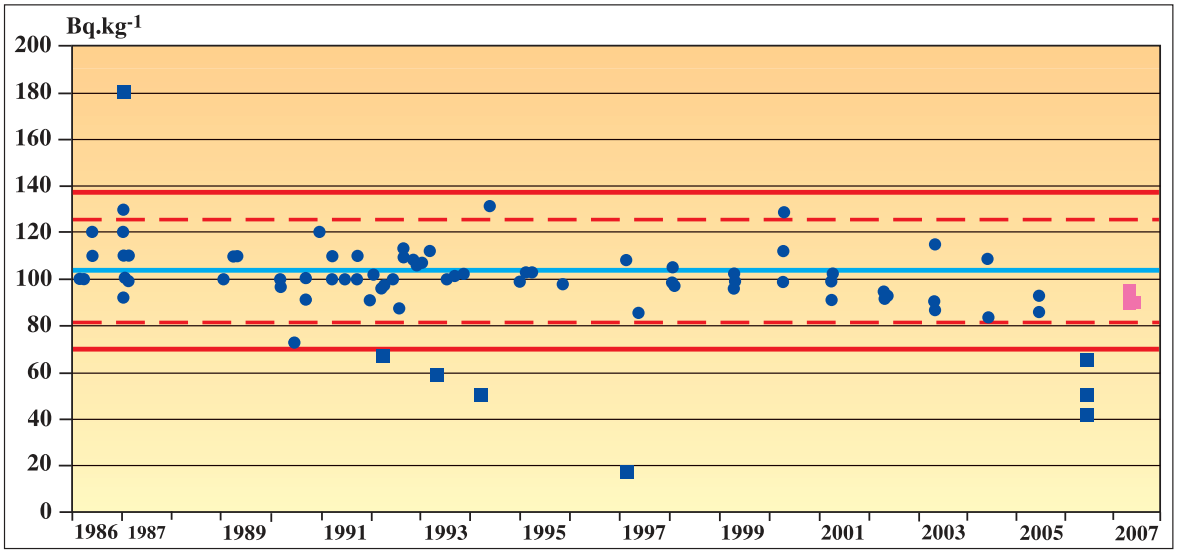


Figure V.2. - Activité du potassium 40 dans la chair du turbo soyeux depuis 1986.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137, cobalt 60 et strontium 90

Comme les années précédentes, les mesures du césium 137, du cobalt 60 et du strontium 90 présentent des valeurs voisines de la limite de détection.

Plutonium 238

À l'aide de la période du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les 86 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure V.3. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,14 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,0004 ; 0,54] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2007 qui varient entre 0,003 et 0,0114 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

Plutonium 239 + plutonium 240

La moyenne géométrique est de 0,074 Bq.kg^{-1} calculée sur les 86 échantillons prélevés depuis 1986. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 2,8] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2007, qui varient entre 0,02 et 0,14 Bq.kg^{-1}, sont comprises dans cet intervalle (Fig. V.4.).

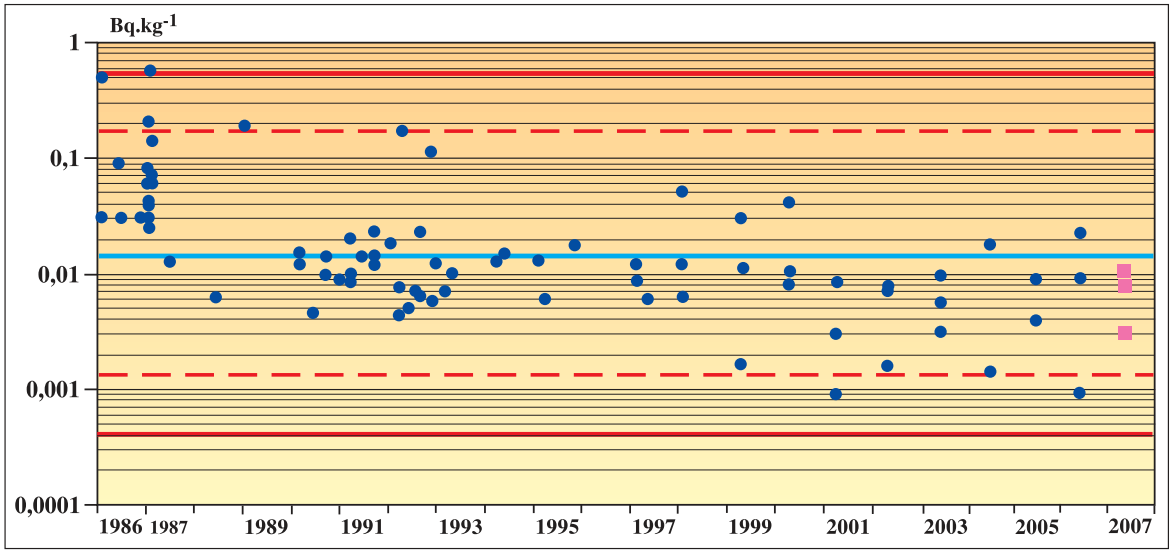


Figure V.3. - Activité du plutonium 238 dans la chair de turbo soyeux depuis 1986.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

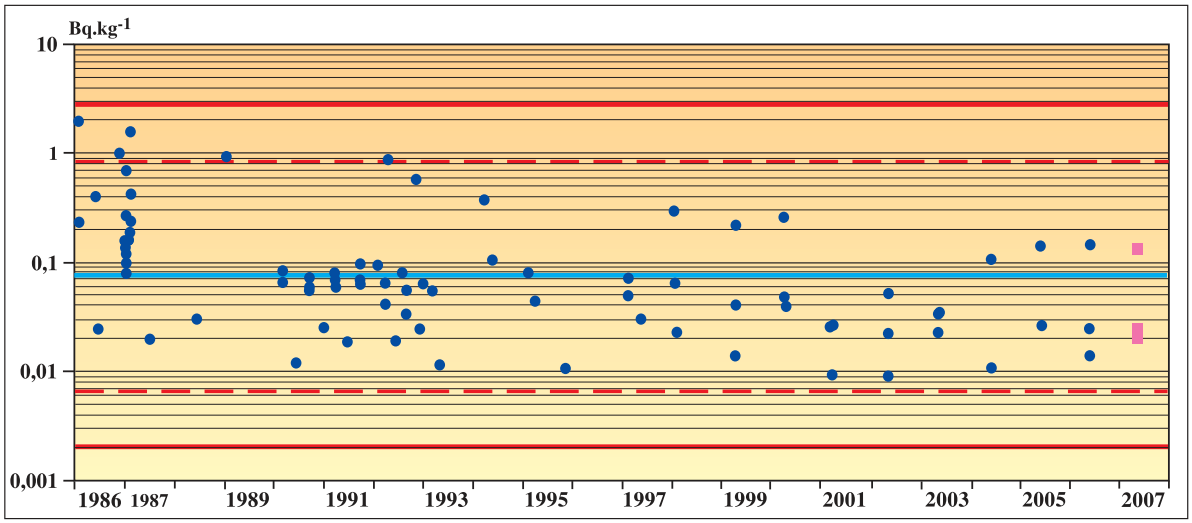


Figure V.4. - Activité des plutonium 239 + Plutonium 240 dans la chair de turbo soyeux depuis 1986.

Rapport plutonium 238/plutonium 239 + plutonium 240

Les rapports calculés des activités en plutonium ($^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu$) en 2007 sont de :

- 0,08 ± 0,02 pour Mururoa Nord,
- 0,15 ± 0,05 pour Mururoa Sud,
- 0,31 ± 0,07 pour Fangataufa.

Les figures V.5. et V.6. donnent les différentes valeurs calculées pour les deux atolls. Les valeurs de Fangataufa sont supérieures à celles de Mururoa.

L'atoll de MURUROA

Sur l'ensemble des 41 rapports calculés depuis 1986, la valeur moyenne est de 0,17 ± 0,01. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,055 ; 0,29] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs de 2007 qui varient entre 0,08 et 0,15 sont comprises dans cet intervalle. En 1991, la valeur hors norme correspond à Mururoa Est et en 2002, à Mururoa Ouest.

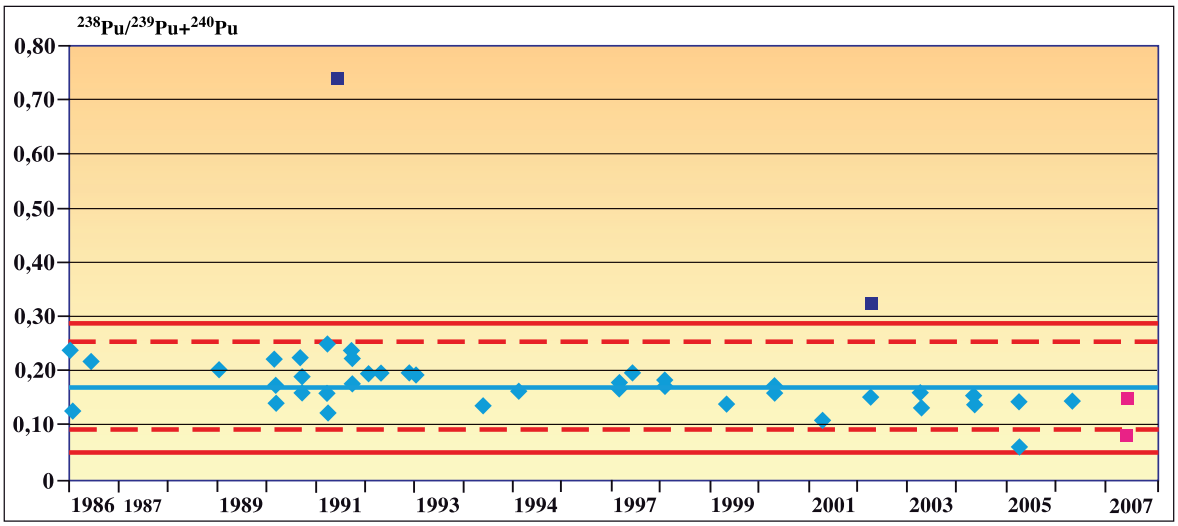


Figure V.5. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans la chair du turbo soyeux à Mururoa depuis 1986.

L'atoll de FANGATAUFA

Sur l'ensemble des 22 rapports calculés depuis 1986, la valeur moyenne est de 0,32 ± 0,03. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,16 ; 0,49] traduit la dispersion des résultats.

La valeur de 2007 (0,31) est comprise dans cet intervalle.

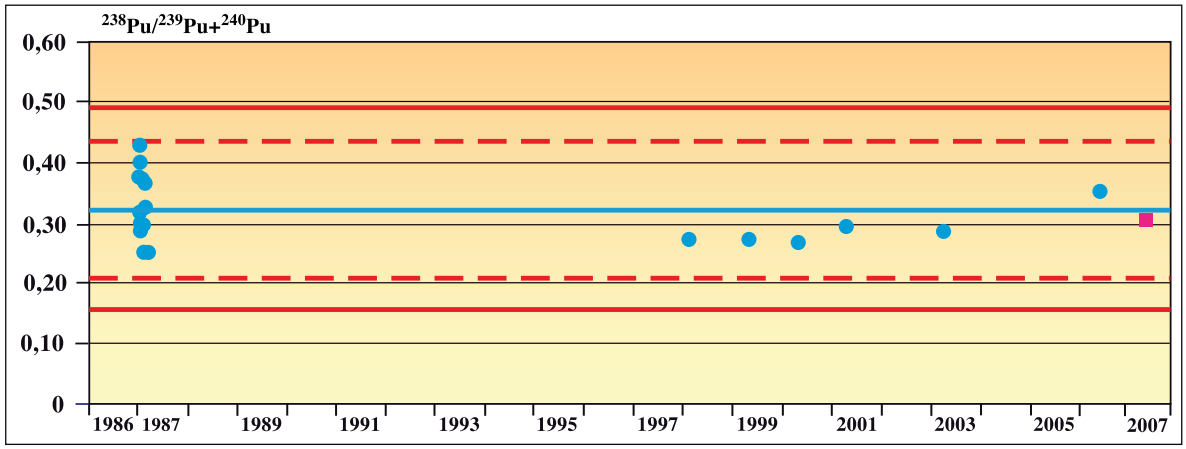


Figure V.6. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans la chair du turbo soyeux à Fangataufa depuis 1986.

V.2. - LES EAUX DES FLANCS D'ATOLL

V.2.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

La surveillance de la radioactivité des eaux des flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa est assurée par des prélèvements d'eau océanique en 6 radiales à Mururoa et 4 à Fangataufa. En chaque radiale, les prélèvements sont effectués à trois profondeurs différentes : 200 m, 400 m et 600 m sur les isobathes correspondants. Chaque prélèvement est constitué de 2 x 50 millilitres d'eau environ sur lequel une analyse HTO (eau tritiée) par scintillation liquide est pratiquée.

Prélèvement d'eaux des flancs d'atoll par bouteille hydrologique.

Les caractéristiques et la situation géographique des radiales de prélèvements d'eaux des flancs d'atoll en 2007 sont données pour Mururoa dans le tableau V.2. et la figure V.7.

Lieu	Radiale	Profondeur (m)	Date de prélèvement	Coordonnées géographiques
Secteur 4 de Mururoa	1	200 400 600	25.03.07	21° 53,10' S 138° 56,19' W
	2	200 400 600	25.03.07	21° 53,28' S 138° 56,70' W
	3	200 400 600	25.03.07	21° 53,38' S 138° 57,23' W
	4	200 400 600	25.03.07	21° 53,34' S 138° 57,90' W
	5	200 400 600	25.03.07	21° 53,45 S 138° 58,78' W
	6	200 400 600	25.03.07	21° 53,44' S 138° 59,01' W

Tableau V.2. : Caractéristiques des prélèvements d'eaux des flancs de l'atoll de Mururoa en 2007.

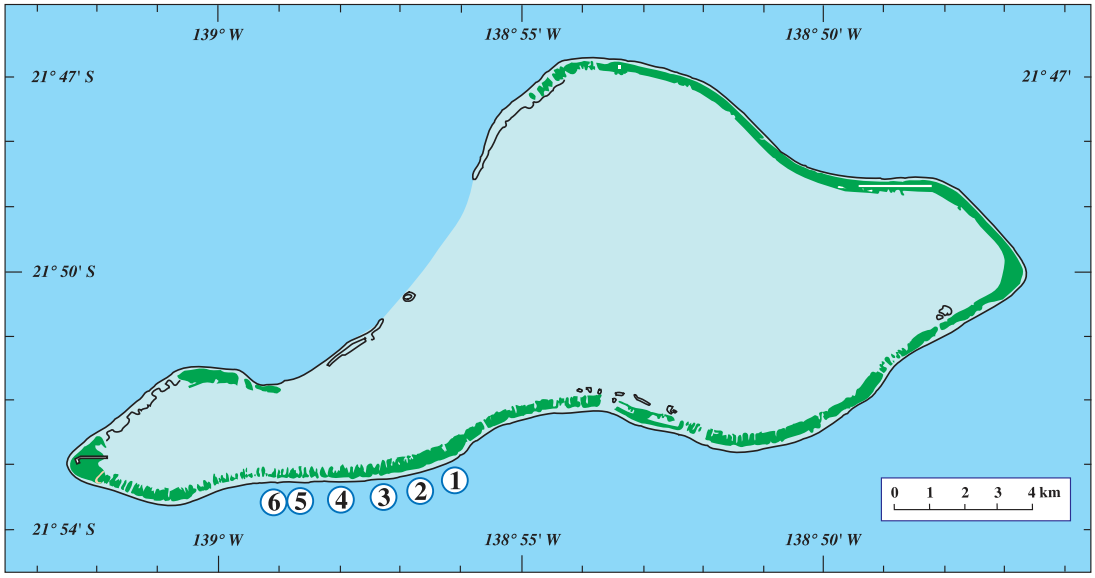


Figure V.7. : Radiales de prélèvement des eaux des flancs de l'atoll de Mururoa en 2007.

Les caractéristiques et la situation géographique des radiales de prélèvements d'eaux des flancs d'atoll en 2007 sont données pour Fangataufa dans le tableau V.3. et la figure V.8.

Lieu	Radiale	Profondeur (m)	Date de prélèvement	Coordonnées géographiques
Entre HOTEL et TERME SUD	1	200 400 600	24.03.07	22° 15,06' S 138° 46,00' W
	2	200 400 600	24.03.07	22° 15,41' S 138° 45,98' W
	3	200 400 600	24.03.07	22° 16,14' S 138° 45,98' W
	4	200 400 600	24.03.07	22° 16,62' S 138° 46,02' W

Tableau V.3. : Caractéristiques des prélèvements d'eaux des flancs de l'atoll de Fangataufa en 2007.

Figure V.8. : Radiales de prélèvement des eaux des flancs de l'atoll de Fangataufa en 2007.

V.2.2. - LES RESULTATS

Les résultats de mesure de l'HTO obtenus en 2007 sur les prélèvements réalisés sur les flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa sont présentés dans les tableaux V.4. et V.5.

Lieu	Radiale	Profondeur (m)	Activité ($Bq.m^{-3}$)
Secteur 4 de Mururoa	1	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000
	2	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000
	3	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000
	4	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000
	5	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000
	6	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000

Tableau V.4. : Activité HTO dans les eaux des flancs de l'atoll de Mururoa en 2007.

Lieu	Radiale	Profondeur (m)	Activité ($Bq.m^{-3}$)
Entre HOTEL et TERME SUD	1	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000
	2	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000
	3	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000
	4	200 400 600	≤ 1 000 ≤ 1 000 ≤ 1 000

Tableau V.5. : Activité HTO dans les eaux des flancs de l'atoll de Fangataufa en 2007.

Les valeurs mesurées sont habituellement inférieures aux limites de détection des appareils de mesure.

Les limites de détection sont 6 à 8 fois plus élevées que le niveau de radioactivité en HTO des eaux de surface en Polynésie (environ 150 $Bq.m^{-3}$).

V.3. - LE PLANCTON OCEANIQUE 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.

V.3.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Les traits de plancton s'effectuent à partir du RR REVI. Les prélèvements sont effectués aux abords immédiats des atolls de Mururoa et de Fangataufa dans la même zone où ont été prélevées les eaux des flancs d'atoll.

Cinq filets gréés sur le même câble tracteur sont mouillés à la tombée de la nuit puis traînés horizontalement entre 10 et 50 mètres de profondeur durant au moins 6 heures à vitesse réduite (1 à 1,5 nœud).

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.

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 y être égouttée sur un papier absorbant durant 3 heures.

Un trait est nécessaire pour obtenir 500 grammes d'échantillon à mesurer.

Prélèvement du plancton océanique des flancs d'atoll.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie γ. Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radioéléments émetteurs α et β contenus dans les cendres des échantillons.

L'édition 2003 du guide de surveillance radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa précise que la mesure du strontium 90 ne sera effectuée que si la spectrométrie gamma met en évidence la présence de césium 137.

Pour la rédaction du rapport 2007, nous avons vérifié l'ensemble des valeurs concernant les différents planctons (lagon, flanc d'atoll et océan). Entre autres, des valeurs des prélèvements lagonaires au niveau de la passe (JANIE 32) avaient été intégrées par erreur aux flancs d'atoll (secteur 1). Elles seront toutes dorénavant avec le plancton du lagon (zone Nord).

V.3.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LE PLANCTON OCEANIQUE DES FLANCS D'ATOLL

Le tableau V.6. et la figure V.9. présentent les résultats des mesures de la radioactivité dans le plancton océanique aux abords immédiats des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{60}Co	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu
Mururoa 4	25.04.07	30,4 ± 2,5	≤ 0,059	≤ 0,072	0,0038 ± 0,0018	0,0181 ± 0,0042
Fangataufa	24.03.07	32 ± 1,9	≤ 0,058	≤ 0,082	0,0114 ± 0,0031	0,0377 ± 0,0071

^{90}Sr non mesuré

Tableau V.6. - Activité dans le plancton océanique des flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa, exprimée en Bq.kg^{-1} en 2007.

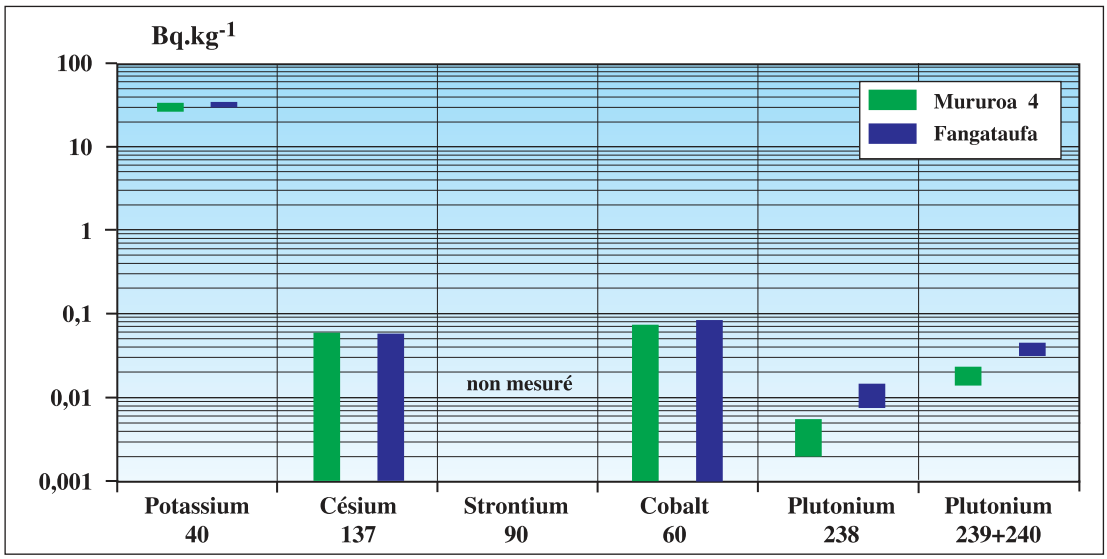


Figure V.9. - Activité dans le plancton océanique prélevé sur les flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

La moyenne géométrique du potassium 40 est de 19,6 $Bq.kg^{-1}$ calculée sur les 114 échantillons de plancton récoltés sur les flancs d'atolls depuis 1986.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [2,7 ; 141] $Bq.kg^{-1}$ traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2007 qui varient entre 30,4 et 32 $Bq.kg^{-1}$ sont comprises dans cet intervalle (Fig. V.10.).

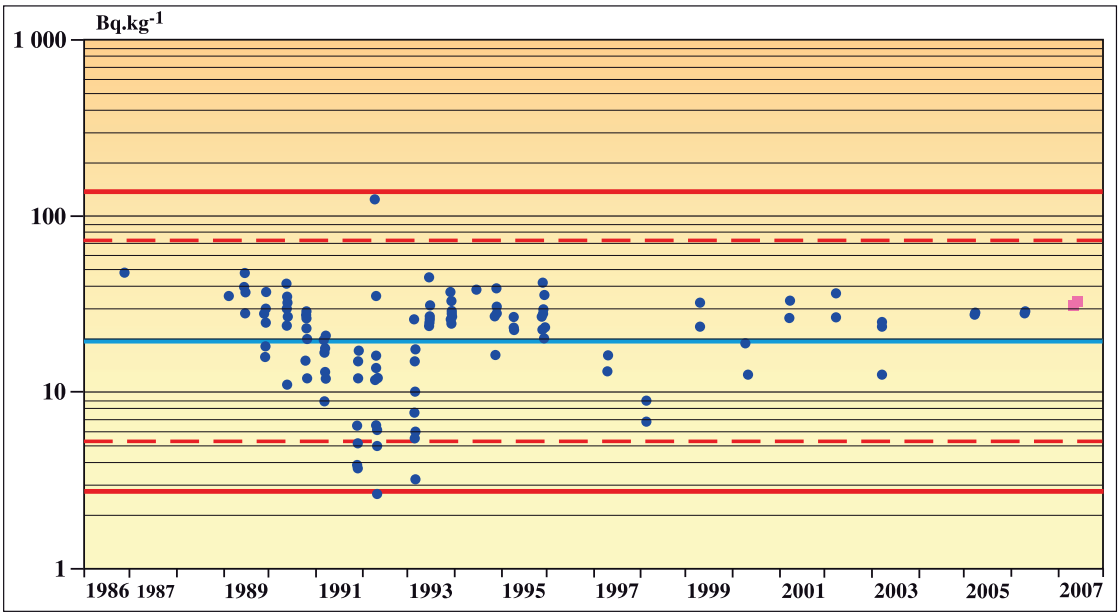


Figure V.10. - Activité du potassium 40 dans le plancton océanique prélevé sur les flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa depuis 1986.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137 et strontium 90

Comme les années précédentes, les activités en césium 137 sont inférieures ou proches des limites de détection.

Les mesures n'ayant pas mis en évidence la présence de césium 137, la mesure du strontium 90 n'a pas été réalisé.

Cobalt 60

L'analyse des valeurs enregistrées sur les 75 échantillons prélevés depuis 1986 autour des deux atolls, ne permet pas de mettre en évidence de différence entre les 5 zones.

La figure V.11. présente la radioactivité en cobalt 60 du plancton prélevé autour des deux atolls depuis 1986. Elle permet de mettre en évidence une décroissance de cette activité selon une période apparente de 5,07 ± 1,88 ans, du même ordre que la période radioactive du cobalt 60 (5,27 ans).

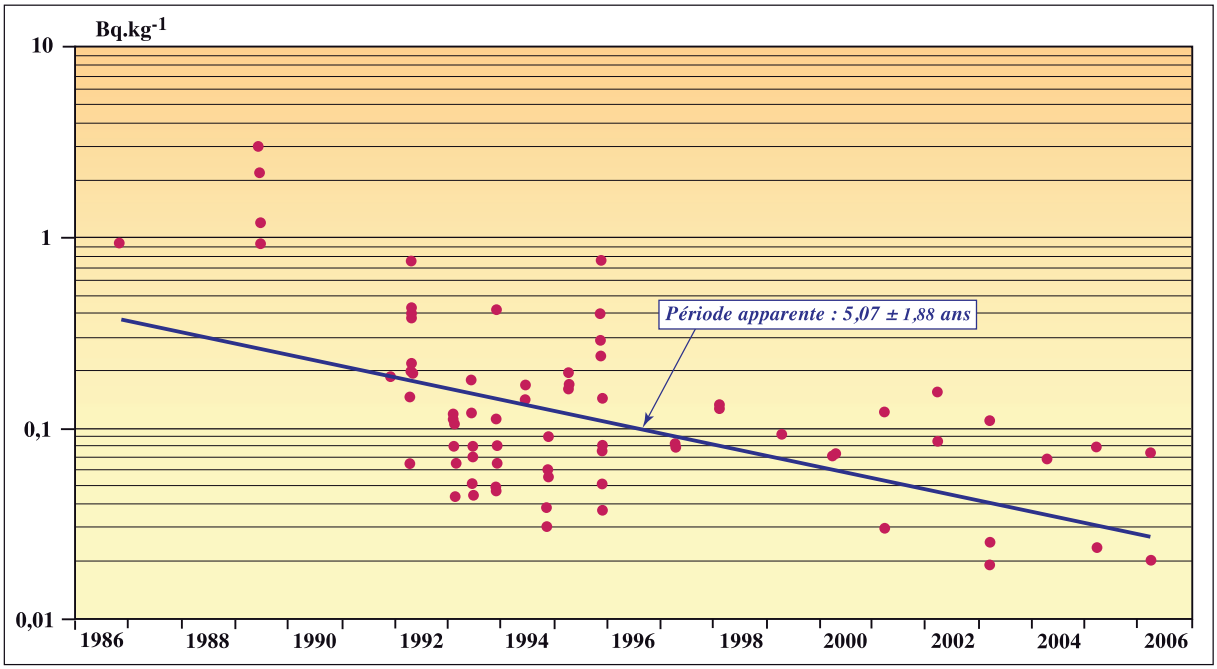


Figure V.11. - Activité du cobalt 60 dans le plancton des flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa depuis 1986.

À l'aide de la période du ^{60}Co, les valeurs mesurées sur les échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure V.12. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,02 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 0,36] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2007 qui varient entre 0,036 et 0,041 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

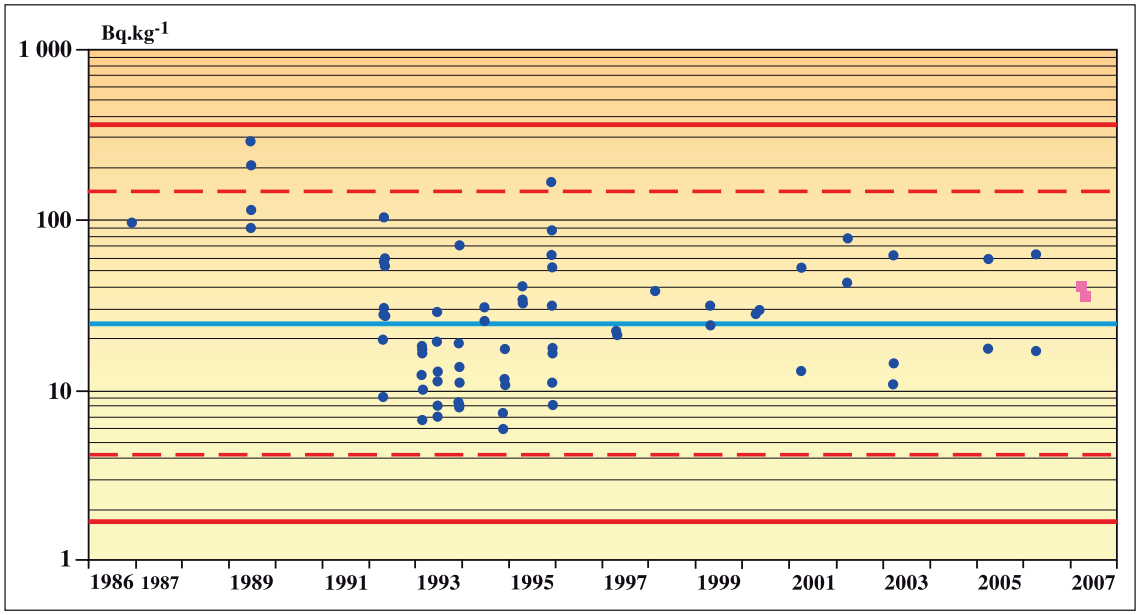


Figure V.12. - Activité du cobalt 60 dans le plancton des flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240

Depuis 1989, 36 échantillons ont été prélevés.

Plutonium 238

À l'aide de la période du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les échantillons prélevés depuis 1990 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure V.13. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,009 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,004 ; 0,23] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,011 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

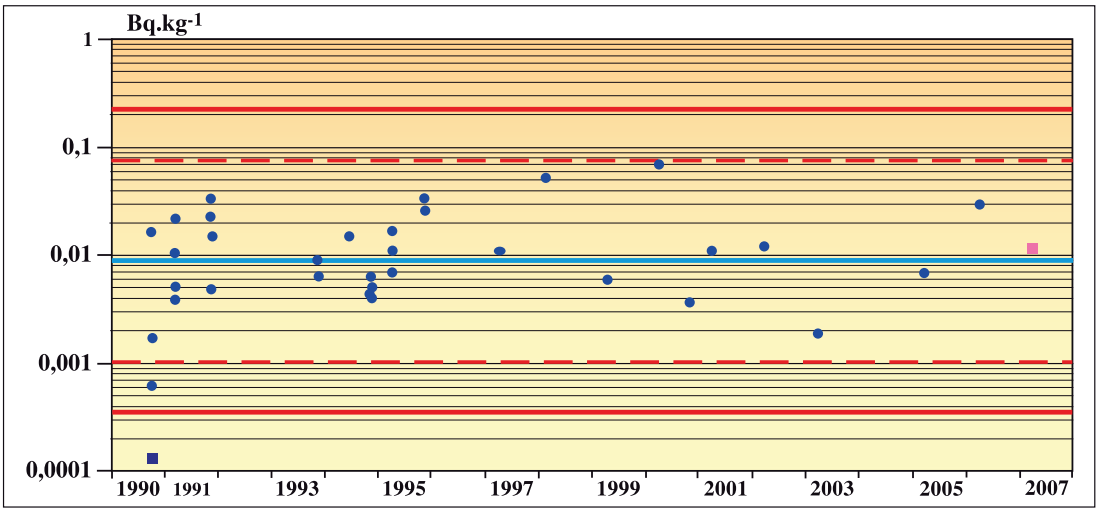


Figure V.13. - Activité du plutonium 238 dans le plancton des flancs d'atoll de Mururoa depuis 1990 (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Plutonium 239 + plutonium 240

Les valeurs mesurées sur les 37 échantillons prélevés depuis 1990 sont données sur la figure V.14. La moyenne géométrique est de 0,12 Bq.kg^{-1}.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,0008 ; 7,15] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2007 (0,038 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

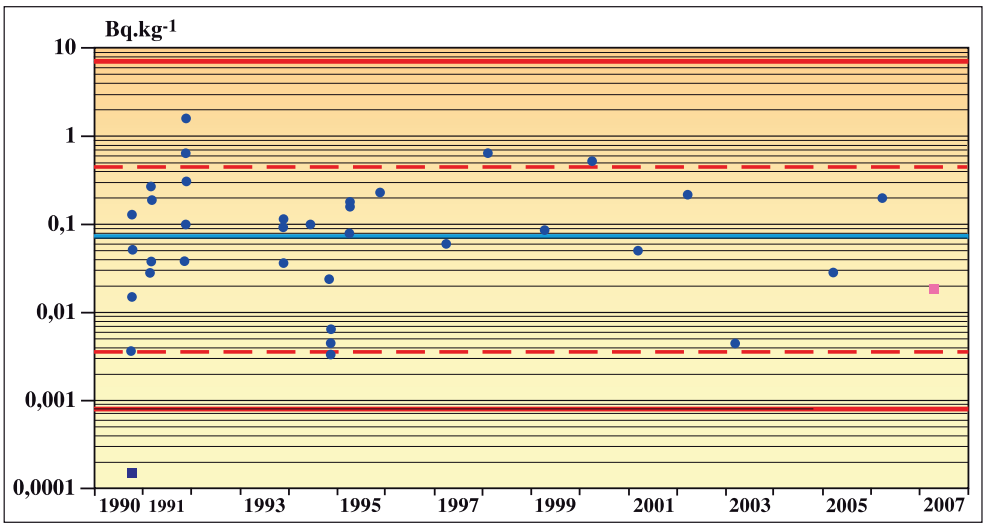


Figure V.14. - Activité des plutonium 239 + plutonium 240 dans le plancton des flancs d'atoll de Mururoa depuis 1990.

Rapport plutonium 238/plutonium 239 + plutonium 240

Les valeurs, sur les 25 rapports calculés depuis 1990, sont données dans la figure V.15. La moyenne géométrique est de 0,11. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,017 ; 0,73] traduit la dispersion des résultats.

La valeur 2007 (0,21 ± 0,11 $Bq.kg^{-1}$) est comprise dans cet intervalle.

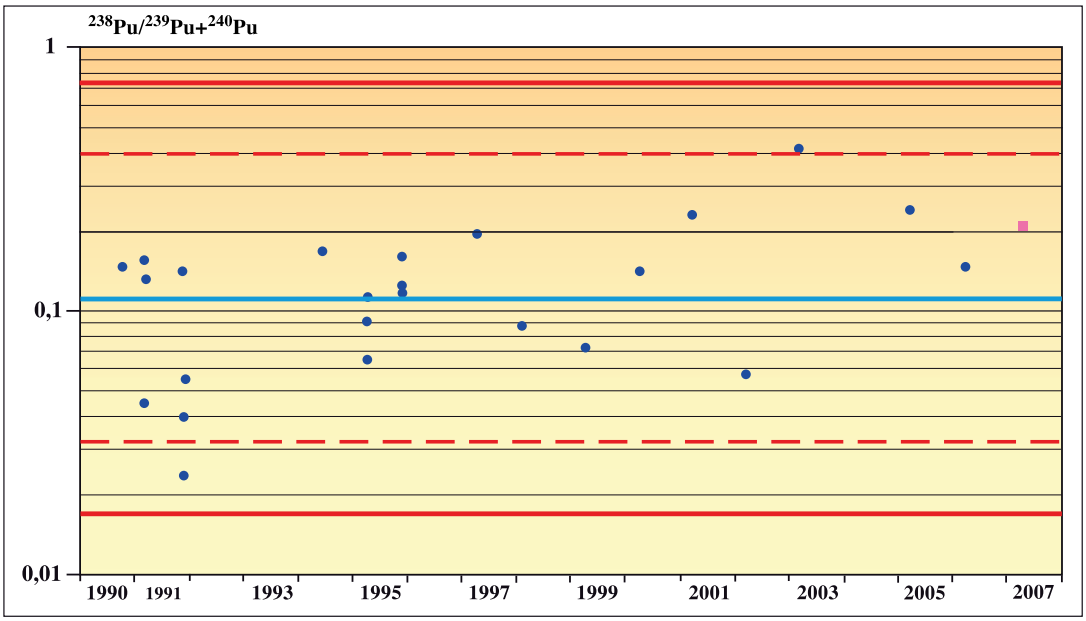


Figure V.15. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans le plancton océanique des flancs d'atoll de Mururoa depuis 1990.

Fangataufa

Depuis 1990, 29 échantillons ont été prélevés.

Plutonium 238

À l'aide de la période du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les échantillons prélevés depuis 1990 sont ramenées au 1er mai 2007.

La figure V.16. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,017 $Bq.kg^{-1}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,0011 ; 0,25] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,0038 $Bq.kg^{-1}$) est comprise dans cet intervalle.

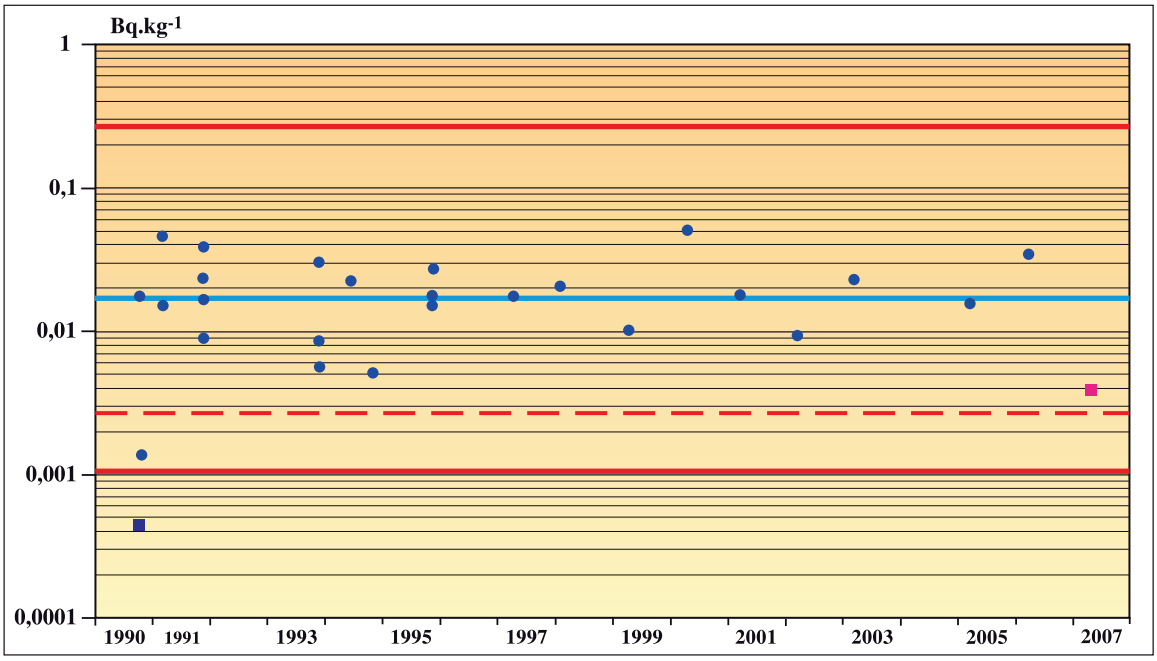


Figure V.16. - Activité du plutonium 238 dans le plancton des flancs d'atoll de Fangataufa depuis 1990 (valeurs ramenées au 01/05/07)**.**

Plutonium 239 + plutonium 240

Les valeurs mesurées sur les échantillons prélevés depuis 1990 sont données sur la figure V.17. La moyenne géométrique est de 0,07 $Bq.kg^{-1}$.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,0016 ; 3,1] $Bq.kg^{-1}$ traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,018 $Bq.kg^{-1}$) est comprise dans cet intervalle.

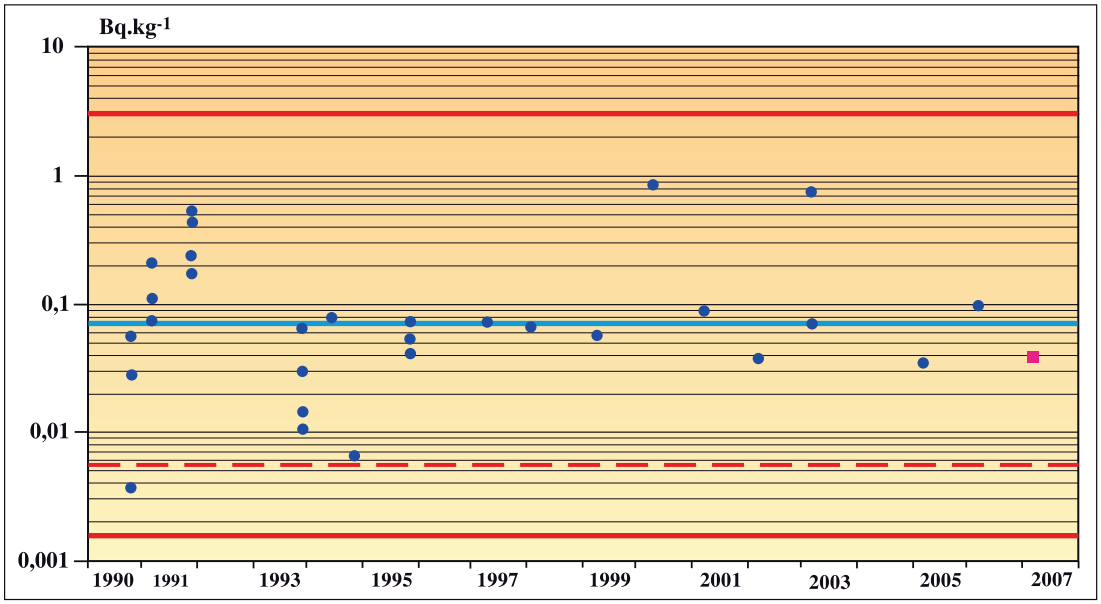


Figure V.17. - Activité du plutonium 239 + plutonium 240 dans le plancton des flancs d'atoll de Fangataufa depuis 1990.

Rapport plutonium 238/plutonium 239 + plutonium 240

Sur les 21 valeurs calculées depuis 1990, la moyenne géométrique est de 0,20. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,025 ; 1,66] traduit la dispersion des résultats.

La valeur de 2007 (0,3 ± 0,1) est comprise dans cet intervalle.

La population des valeurs suit une loi log normale.

La figure V.18. représente les valeurs calculées depuis 1990.

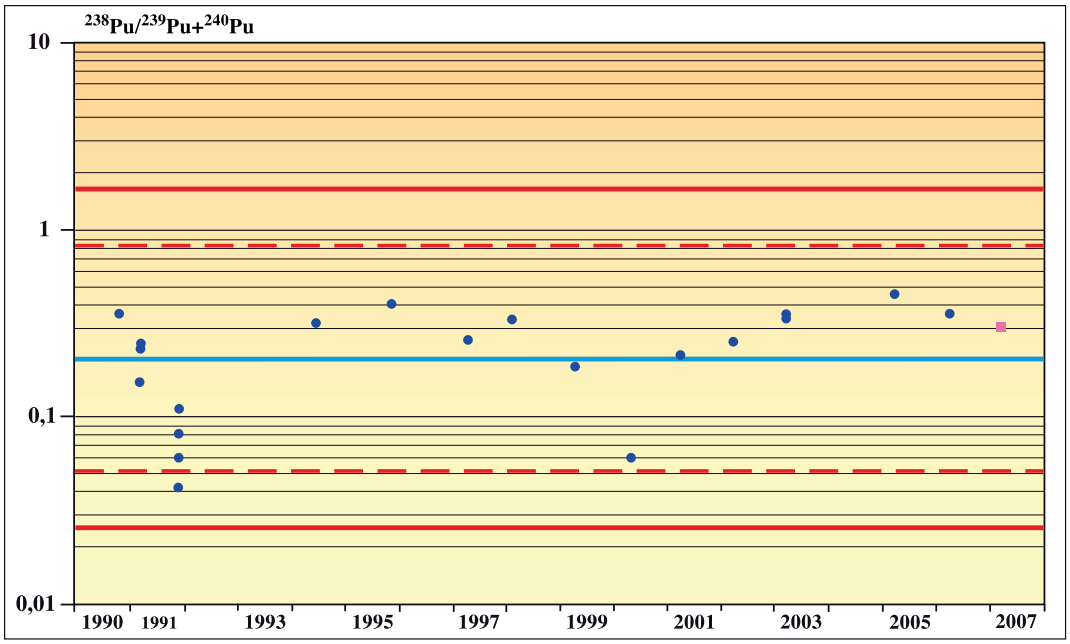


Figure V.18. – Rapport des activités en plutonium $^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu$ dans le plancton océanique des flancs d'atoll de Fangataufa depuis 1990.

V.4. - LES CREVETTES DE PROFONDEUR

Les crevettes des profondeurs comprennent plusieurs espèces de la famille des Pandalilae (*Plesionika* sp., *Heterocarpus* sp.). Elles sont pêchées selon les techniques traditionnelles de la pêche aux casiers depuis le RR REVI dans la même zone où sont prélevées les eaux des flancs d'atoll.

V.4.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Ces crustacés sont pêchés avec des casiers de type « Noirmoutier » montés en filière par groupe de dix.

Les filières sont mouillées parallèlement au rivage entre 550 et 6500 mètres de fond. Ces opérations s'effectuent à environ 600 mètres du platier externe et nécessitent une mer calme. Posés dans la matinée, les casiers sont relevés le jour suivant.

Les crevettes entières (sans distinction d'espèce) sont égouttées et pesées. Trois kilogrammes sont nécessaires aux mesures.

Un prélèvement est réalisé une fois par an à Mururoa au même endroit que les prélèvements des flancs d'atoll.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie γ. Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radioéléments émetteurs α et β contenus dans les cendres des échantillons.

Différentes espèces de crevettes.

V.4.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LES CREVETTES

Le tableau V.7. et la figure V.19. présentent les résultats des mesures effectuées sur les crevettes pêchées à Mururoa.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{238}Pu	$^{239}Pu + ^{240}Pu$
Mururoa secteur 4	26.03.07	68,6 ± 2,7	0,043 ± 0,011	≤ 0,410	≤ 0,063	≤ 0,0045	0,010 ± 0,004

Tableau V.7. – Activité dans les crevettes de profondeur exprimée en $Bq.kg^{-1}$ en 2007.

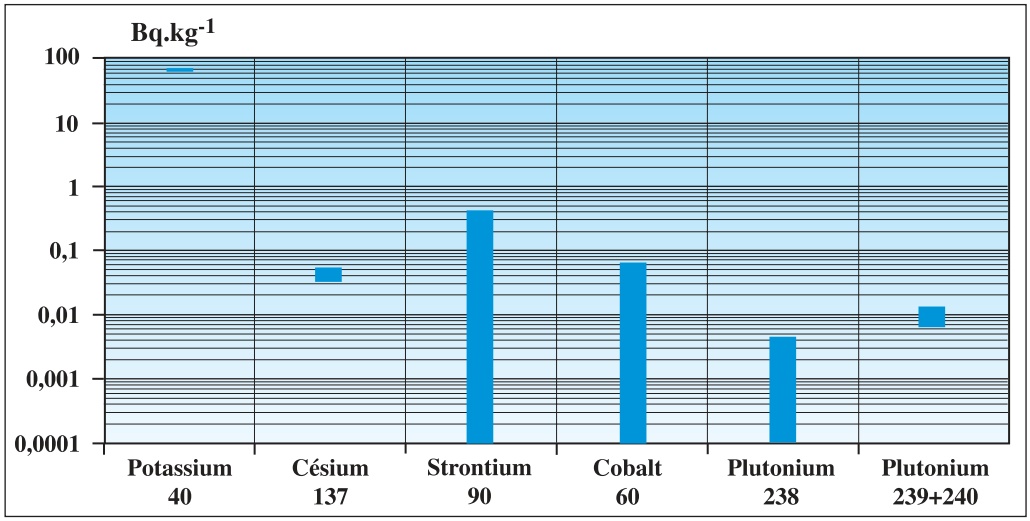


Figure V.19. - Activité dans les crevettes de profondeur en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium

La valeur moyenne en potassium 40 est de 73 ± 2 $Bq.kg^{-1}$ calculée sur 81 échantillons depuis 1989 à Mururoa. L'intervalle de probabilité 99,7 % [41 ; 104] $Bq.kg^{-1}$ traduit la dispersion des résultats.

La valeur de 2007 (68,6 $Bq.kg^{-1}$) est comprise dans cet intervalle (Fig. V.20.).

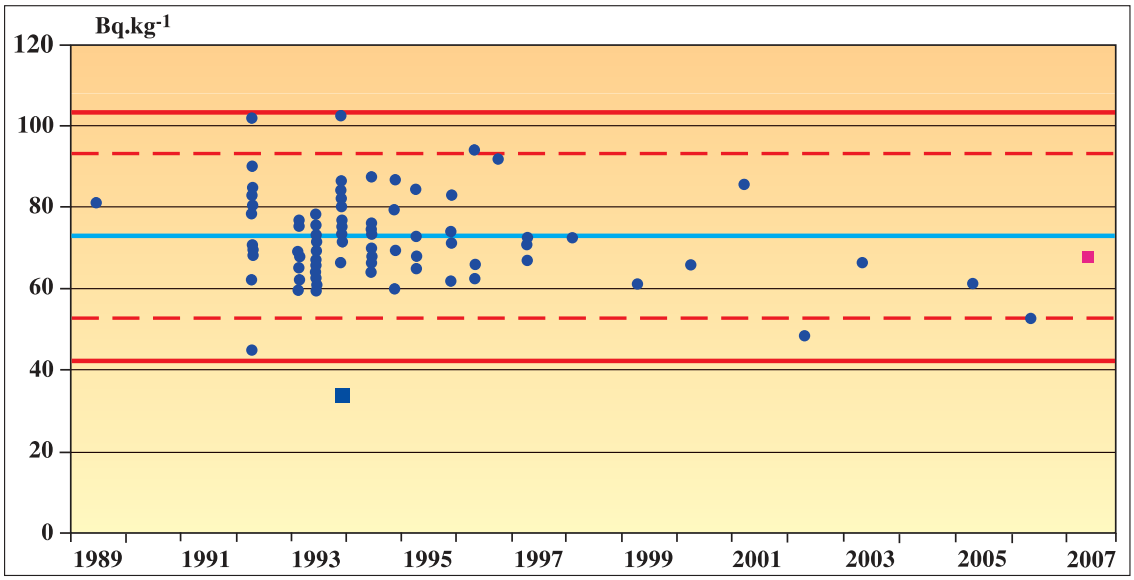


Figure V.20. - Activité du potassium 40 dans les crevettes de profondeur à Mururoa depuis 1989.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137, cobalt 60, strontium 90 et plutonium 238

Comme les années précédentes, les valeurs en césium 137, cobalt 60, strontium 90 et plutonium 238 sont inférieures ou proches de la limite de détection des appareils de mesure.

Plutonium 239 + plutonium 240

La moyenne géométrique en plutonium 239 + plutonium 240 est de 0,02 $Bq.kg^{-1}$ calculée sur les résultats de mesure des 50 échantillons depuis 1989. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,0005 ; 0,54] $Bq.kg^{-1}$ traduit la dispersion des résultats.

La valeur 2007 (0,0099 $Bq.kg^{-1}$) est comprise dans cet intervalle (Fig. V.21.).

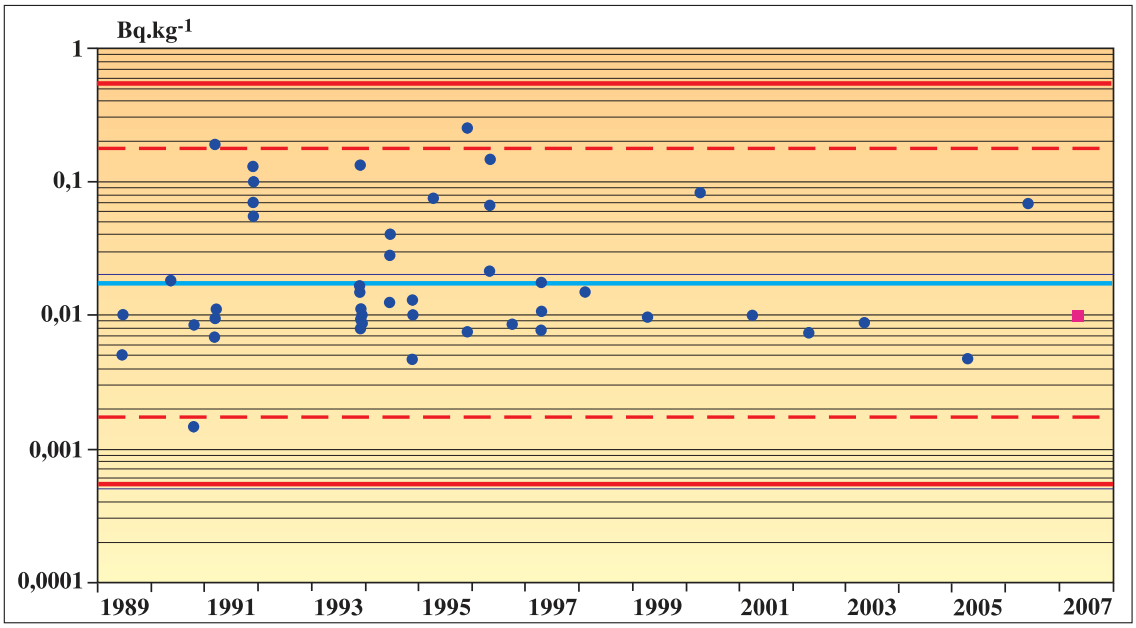


Figure V.21. - Activité des plutonium 239 + Plutonium 240 dans les crevettes de profondeur à Mururoa depuis 1989.

V.5. - LES POISSONS PELAGIQUES COTIERS

Les poissons pélagiques côtiers comportent des espèces très répandues en Polynésie française. Trois espèces différentes peuvent être prélevées : le thazard (*Acanthocybium solandri*), le thon à dents de chien ou gymnosarde (*Gymnosarda unicolor*) ou la carangue noire (*Caranx lugubris*). En 2007, le prélèvement est constitué de gymnosarde.

La gymnosarde est facilement reconnaissable à sa mâchoire armée de fortes dents qui lui a valu le nom de 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).

Thon à dents de chien pêché autour de Mururoa.

V.5.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

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 6 à 8 nœuds à quelques centaines de mètres des côtes. Il est pêché une fois par an dans une des quatre zones à Mururoa et à Fangataufa.

Le poisson est découpé pour recueillir les filets jusqu'à l'obtention de trois kilogrammes. Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie γ. Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radioéléments émetteurs α et β contenus dans les cendres des échantillons.

V.5.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LA GYMNOSARDE

Le tableau V.8. et la figure V.22. présentent les résultats des mesures de la radioactivité réalisées sur la gymnosarde pêchée aux abords de Mururoa et de Fangataufa en 2007.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{238}Pu	$^{239}Pu + ^{240}Pu$
Mururoa secteur 4	29.03.07	185 ± 6,2	0,373 ± 0,02	≤ 0,026	≤ 0,053	≤ 0,00120	≤ 0,00120
Fangataufa	15.04.07	163 ± 5	0,469 ± 0,02	≤ 0,022	≤ 0,041	≤ 0,00070	≤ 0,00082

Tableau V.8. - Activité dans la chair de gymnosarde exprimée en $Bq.kg^{-1}$ en 2007.

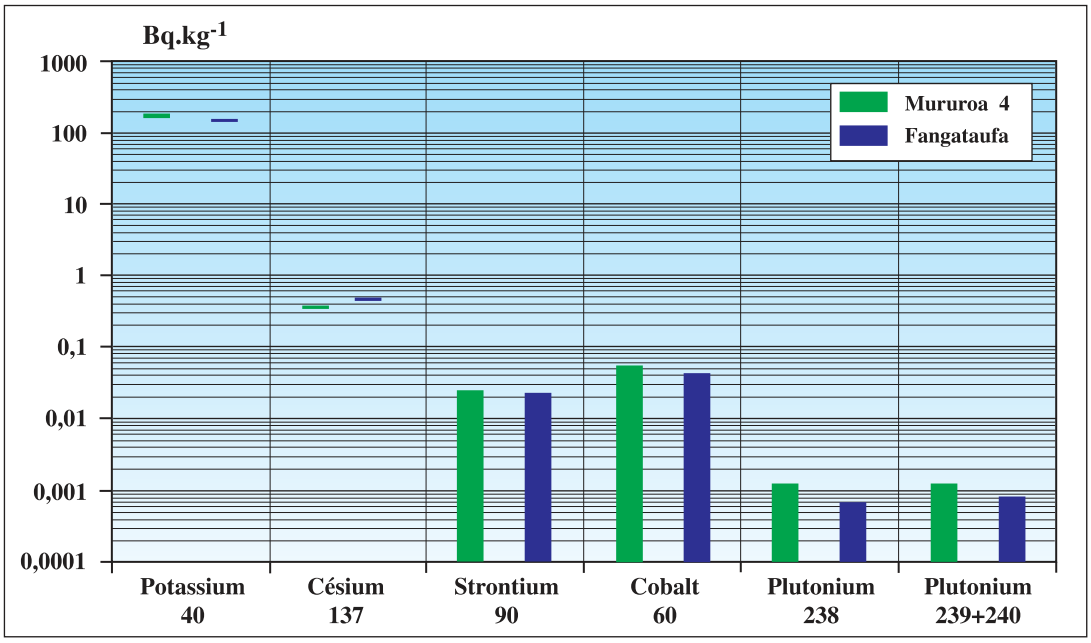


Figure V.22. - Activité dans la chair de gymnosarde en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

La valeur moyenne en potassium 40 est de 149 ± 7 Bq.kg^{-1} calculée sur 53 échantillons prélevés depuis 1987 autour des deux atolls. L'intervalle de probabilité 99,7 % [78 ; 221] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2007, qui varient entre 163 et 185 Bq.kg^{-1}, sont comprises dans cet intervalle (Fig. V.23.).

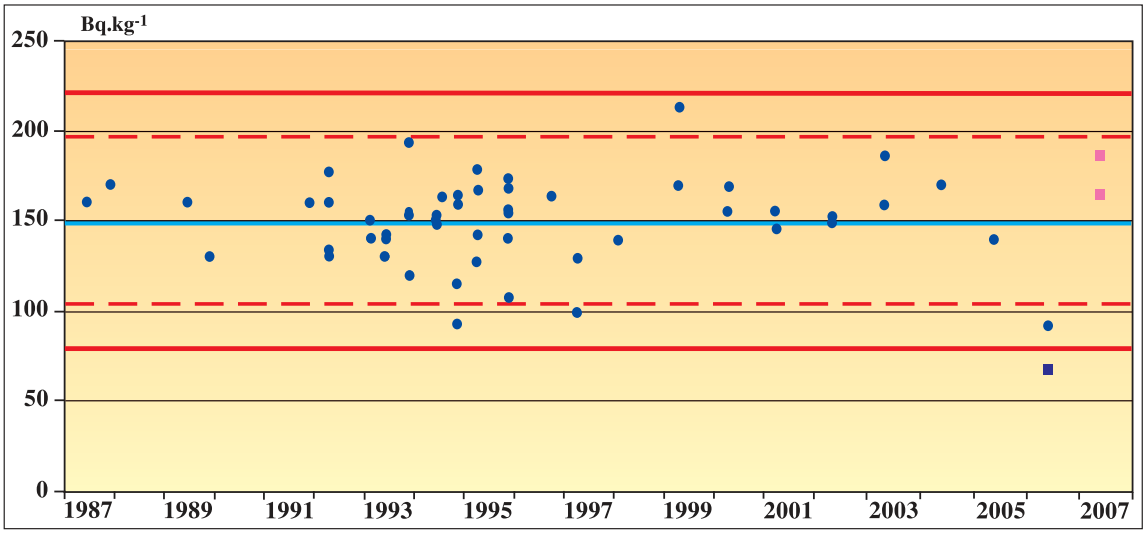


Figure V.23. - Activité du potassium 40 dans la chair de gymnosarde depuis 1987.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137

À l'aide de la période du césium 137 (30,15 ans), les valeurs mesurées sur les 53 échantillons prélevés depuis 1987 sont ramenées au 1er mai 2007.

La moyenne géométrique est de 0,33 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,11 ; 1,1] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2007, qui varient entre 0,373 et 0,469 Bq.kg^{-1}, sont comprises dans cet intervalle (Fig. V.24.).

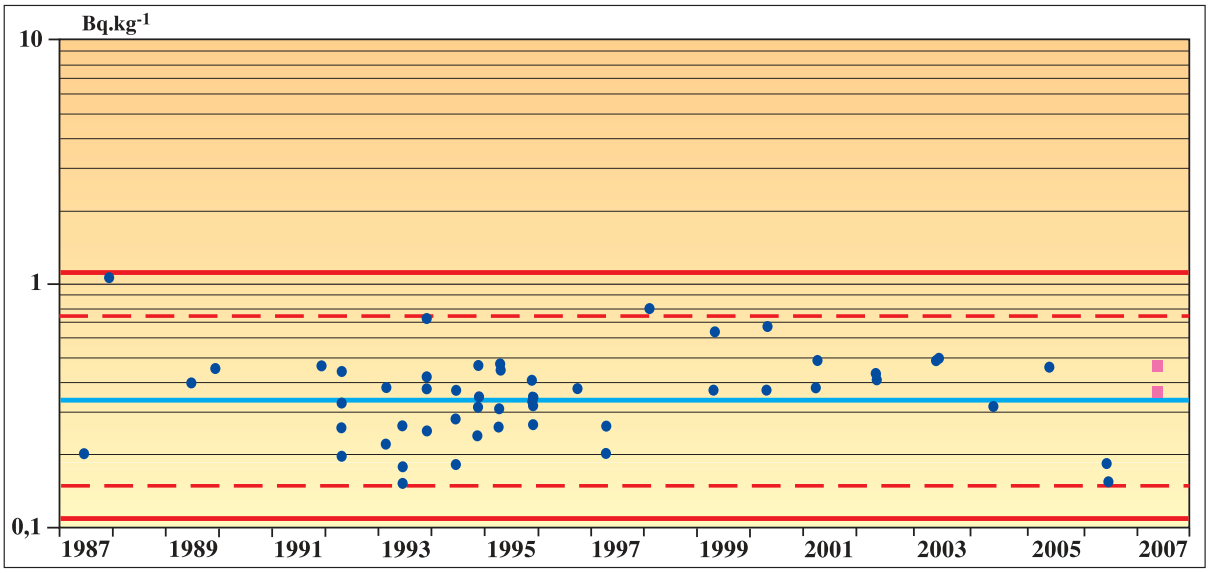


Figure V.24. - Activité du césium 137 dans la chair de gymnosarde depuis 1987.
(valeurs ramenées au 01/05/07).

Cobalt 60, strontium 90, plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240

Les valeurs mesurées en cobalt 60, strontium 90, plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240 sont, comme les années précédentes, inférieures ou proches des limites de détection.

Chapitre VI
LA SURVEILLANCE DU MILIEU OCEANIQUE

VI.1. - LES EAUX OCEANIQUES

Conformément au Guide de surveillance, les eaux océaniques n'ont pas été prélevées cette année. Les prélèvements ont été effectués et analysés en 2005. Les résultats figurent en Annexe D.

VI.2. - LE PLANCTON OCEANIQUE

Conformément au Guide de surveillance, les eaux océaniques n'ont pas été prélevées cette année. Les prélèvements ont été effectués et analysés en 2005. Les résultats figurent en Annexe E.

VI.3. - LES POISSONS PELAGIQUES HAUTURIERS

Les poissons pélagiques hauturiers concernent des espèces très répandues en Polynésie française. Trois espèces peuvent être prélevées : la bonite à ventre rayé (*Katsuwonus pelamis*), le thon à nageoires jaunes ou thon yellowfin (*Thunnus albacares*), la dorade coryphène (*Coryphaena hippurus*). Cette année, un prélèvement de thon à nageoires jaunes et de bonite à ventre rayé ont été réalisés.

Le thon à nageoires jaunes doit son nom à la couleur jaune de ses nageoires. Il 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.

Prélèvement de thon à nageoires jaunes.

VI.3.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

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 6 à 8 nœuds à quelques nautiques des côtes. Ils sont pêchés une fois par an à Fangataufa ou dans une des quatre zones océaniques à Mururoa. Cette année, ils ont été prélevés à Mururoa.

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

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie γ. Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour mesurer les radioéléments émetteurs α et β contenus dans les cendres des échantillons.

VI.3.2. - LA RADIOACTIVITE DANS LES POISSONS PELAGIQUES HAUTURIERS

Le tableau VI.1. et la figure VI.1. présentent les résultats des mesures de la radioactivité dans le thon à nageoires jaunes et la bonite à ventre rayé pêchés en 2007.

Espèces	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu
Thon à nageoires jaunes	29.03.07	126 ± 6,3	0,15 ± 0,012	≤ 0,027	≤ 0,042	≤ 0,0017	≤ 0,0016
Bonite à ventre rayé	07.04.07	125 ± 7,2	0,223 ± 0,014	≤ 0,038	≤ 0,029	≤ 0,0008	≤ 0,0012

Tableau VI.1. - Activité dans la chair du thon à nageoires jaunes et de la bonite à ventre rayé exprimée en Bq.kg^{-1} en 2007.

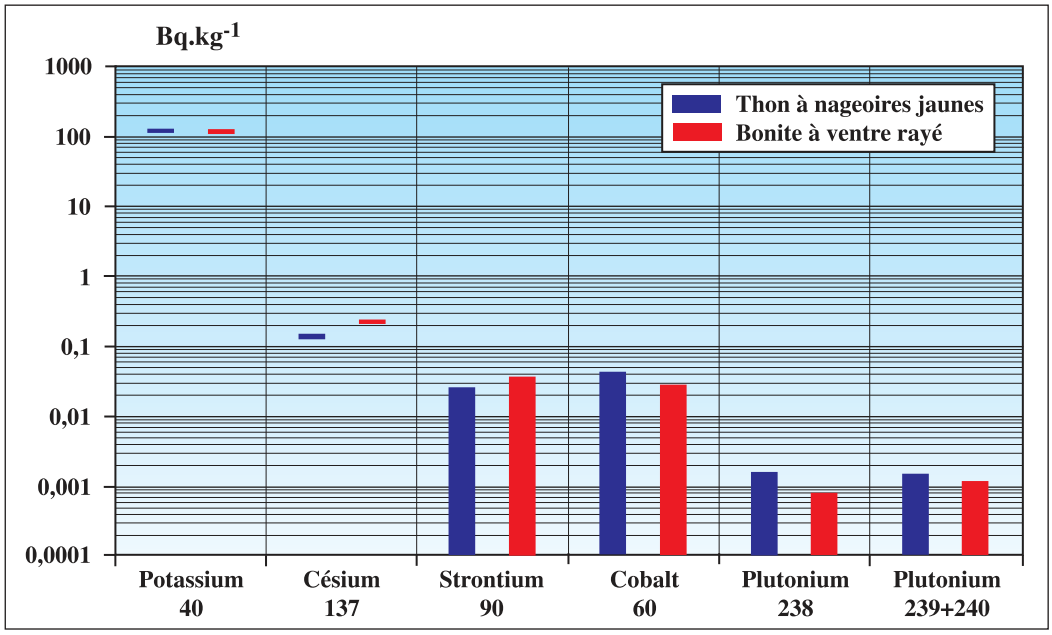


Figure VI.1. - Activité dans la chair du thon à nageoires jaunes et de la bonite à ventre rayé en 2007.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

La valeur moyenne en potassium 40 est de 133 ± 10 $Bq.kg^{-1}$ calculée sur les mesures des 33 échantillons de thon à nageoires jaunes prélevés depuis 1989 au large des deux atolls. L'intervalle de probabilité 99,7 % [51 ; 215] $Bq.kg^{-1}$ traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2007 (126 $Bq.kg^{-1}$) est comprise dans cet intervalle (Fig. VI.2.).

Les résultats sur la bonite à ventre rayé depuis 1997 présentent des valeurs du même ordre de grandeur que celles du thon à nageoires jaunes.

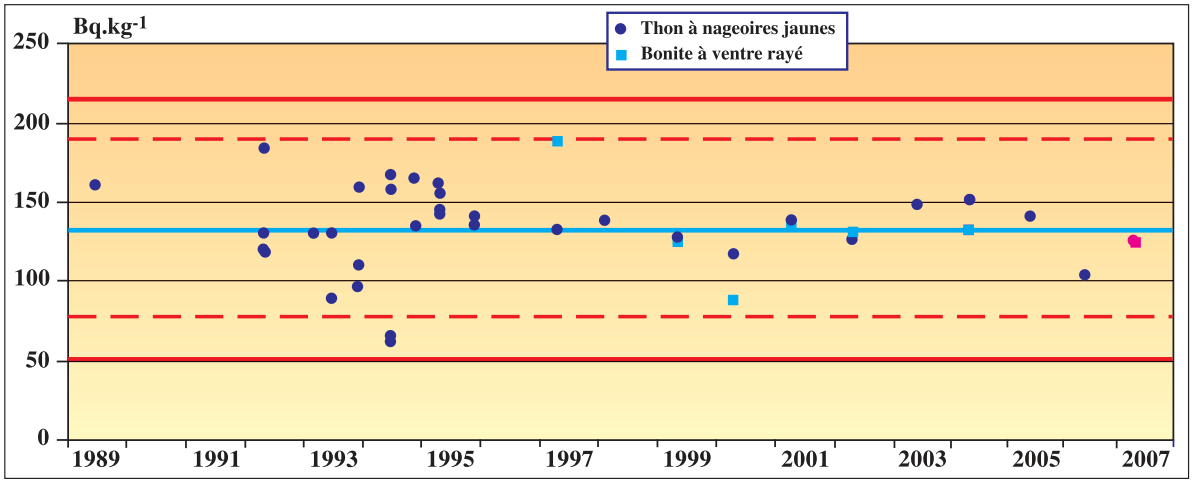


Figure VI.2. - Activité du potassium 40 dans la chair du thon à nageoires jaunes et de la bonite à ventre rayé.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137

Thon à nageoires jaunes

À l'aide de la période du césium 137 (30,15 ans), les valeurs mesurées sur les 33 échantillons prélevés depuis 1989 sont ramenées au 1er mai 2007.

La moyenne géométrique est de 0,18 $Bq.kg^{-1}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,06 ; 0,52] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2007 (0,15 $Bq.kg^{-1}$) est comprise dans cet intervalle (Fig. VI.3.).

Bonite à ventre rayé

Les résultats sur la bonite depuis 1997 présentent des valeurs du même ordre de grandeur que celles du thon à nageoires jaunes.

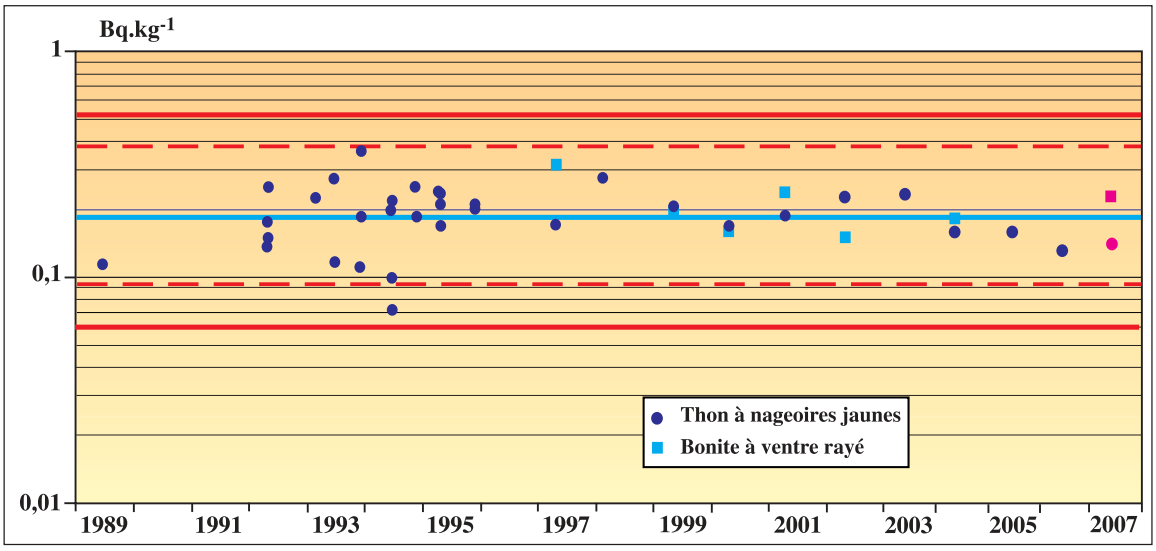


Figure VI.3. - Activité du césium 137 dans la chair du thon à nageoires jaunes et de la bonite à ventre rayé.

Strontium 90, cobalt 60, plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240

Les valeurs enregistrées en 2007 pour le cobalt 60, le strontium 90, le plutonium 238 et le plutonium 239 + plutonium 240 sont, comme les années antérieures, proches ou inférieures aux limites de détection des appareils de mesure.

CONCLUSION

La surveillance radiologique de l'environnement des anciens sites d'expérimentations du Pacifique concerne l'ensemble du milieu :

- L'irradiation ambiante avec la dosimétrie et la surveillance des aérosols atmosphériques,
- Les eaux de Martine,
- Le sable de plage de la zone Vie,
- Les eaux souterraines (puits creusés dans la couverture carbonatée),
- Le lagon avec la surveillance des eaux, de sédiments, du plancton, des poissons (chirurgiens, mérous) et des mollusques (troca),
- La couronne avec les noix de coco et les sols,
- Le tombant récifal avec les eaux, les crevettes profondes, le plancton, les poissons (gymnosarde) et les mollusques (turbo),
- L'océan avec les eaux océaniques, le plancton et les poissons (thon à nageoires jaunes),
- Les prélèvements exceptionnels.

D'une manière générale, les mesures 2007 réalisées sur environ 200 échantillons confirment le faible niveau de la radioactivité artificielle.

La radioactivité en césium 137, strontium 90 et cobalt 60 mesurée sur l'ensemble des échantillons biologiques, des eaux des lagons et des sédiments décroît avec une période apparente équivalente ou inférieure à la période radioactive de ces éléments. Il n'y a donc pas de réintroduction de ces éléments dans l'environnement.

Les eaux souterraines présentent globalement une radioactivité stable depuis 1997.

Les résultats sont conformes à ceux acquis les années précédentes. Ils sont équivalents à ceux relevés dans les rapports d'expertise de l'Agence Internationale à l'Energie Atomique.

La mesure de la dosimétrie ambiante donne des résultats stables d'année en année, qui reflètent bien les niveaux peu élevés de l'exposition externe sur un atoll corallien (de l'ordre de 200 à 300 micrograys par an en moyenne). Cette exposition est presque exclusivement due au rayonnement cosmique.

ANNEXES

Annexe A : LA SURVEILLANCE DES SOLS

Annexe B : LES EAUX DES LAGONS (Sr et Pu)

Annexe C : LES SEDIMENTS

Annexe D : LA SURVEILLANCE DES EAUX OCEANIQUES

Annexe E : LA SURVEILLANCE DU PLANCTON OCEANIQUE

Annexe A

La surveillance des sols

Annexe A
LA SURVEILLANCE DES SOLS

Elle est réalisée à partir de l'analyse de prélèvements de sols effectués sur les motus des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

Les prélèvements ont été réalisés en 2006 à la demande de la C3S (anticipation d'une année par rapport au guide). Les analyses n'ont été réalisées qu'en 2007.

A.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Les prélèvements de sols sont effectués, tous les quatre ans, à l'aide d'un gabarit de 25×20 cm permettant le recueil des deux premiers centimètres.

Les prélèvements ont été réalisés en 8 emplacements à Mururoa (figure A.1.) :

- DINDON, FAUCON, ZOE, VIVIANE, SIMONE, ANEMONE, TACAN, DENISE.

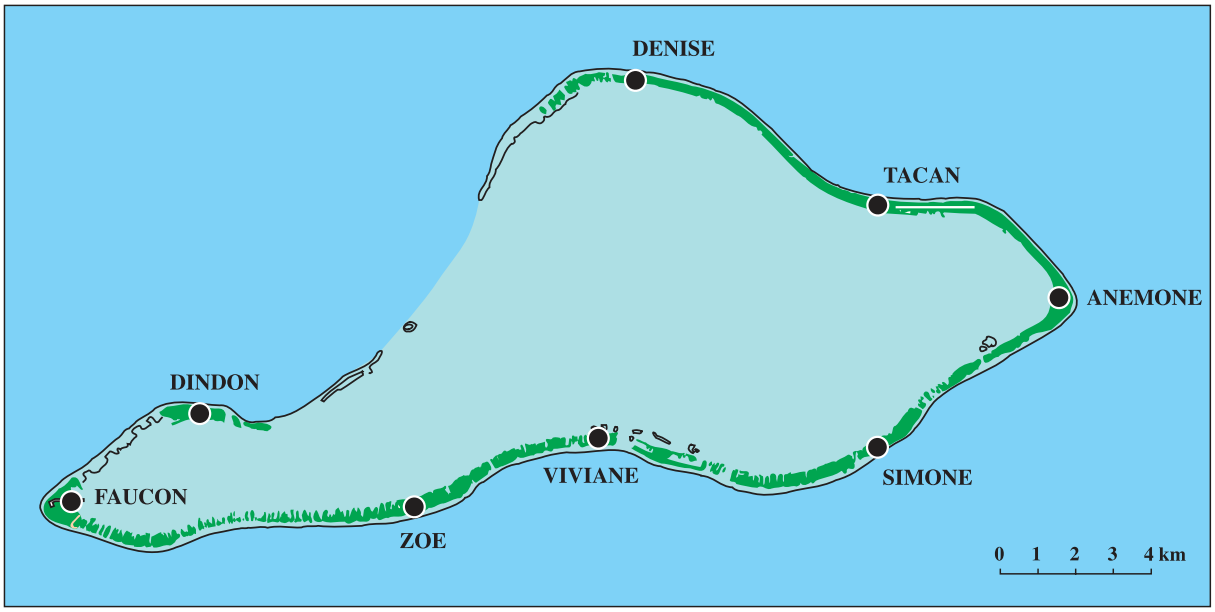


Figure A.1. : Emplacements des prélèvements de sols sur l'atoll de Mururoa.

Les prélèvements ont été effectués en 6 emplacements à Fangataufa (figure A.2.) :

- PAVILLON, TERME SUD, ECHO, FOX, KILO, EMPEREUR.

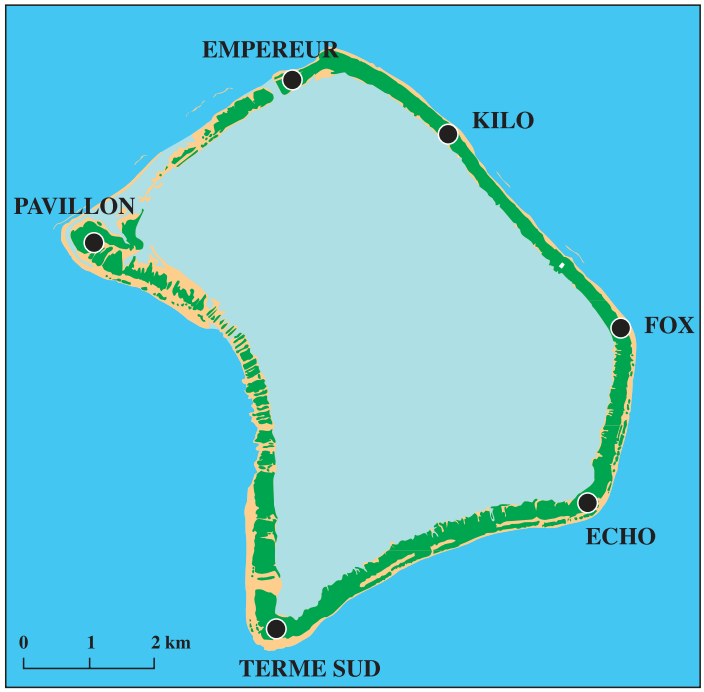


Figure A.2. : Emplacements des prélèvements de sols sur l'atoll de Fangataufa.

Les mesures effectuées sur ces échantillons, après évaporation de l'eau par étuvage, consistent en :

- une spectrométrie γ sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs et autres émetteurs γ),
- une recherche et une mesure du plutonium (^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu) par spectrométrie α sur chambre à grille ou sur chambre à détecteur semi-conducteur Si.

Les mesures du strontium 90 ne sont effectuées que si les valeurs en césium 137 sont supérieures à 1 Bq.kg^{-1} (le dosage du ^{90}Sr est réalisé par comptage β de son descendant radioactif ^{90}Y sur compteur proportionnel bas bruit).

A.2. - LES RESULTATS

Les résultats des mesures de la radioactivité des principaux radionucléides naturels (^{40}K, ^{234}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{235}U et ^{228}Ac) et artificiels (^{60}Co, ^{90}Sr, ^{125}Sb, ^{137}Cs, ^{155}Eu, ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu et ^{241}Am) obtenus en 2006 sont donnés. Ils sont exprimés en Becquerel par kilogramme de matière sèche (Bq.kg^{-1} sec). Ils sont comparés aux résultats de la campagne de prélèvement de sols effectués en 1992 à Mururoa (125 prélèvements) et à celle de 1986-1987 à Fangataufa (403 prélèvements).

A.2.1. - L'atoll de MURUROA

Les caractéristiques des prélèvements effectués sur l'atoll de Mururoa sont indiquées dans le tableau A.1.

Lieux	Date de prélèvement	Coordonées géographiques	
DINDON	30.03.06	21° 51,604' S	138° 59,877' W
FAUCON	30.03.06	21° 52,587' S	139° 02,005' W
ZOE	31.03.06	21° 53,004' S	138° 57,326' W
VIVIANE	31.03.06	21° 51,906' S	138° 53,865' W
SIMONE	10.04.06	21° 52,115' S	138° 49,943' W
ANEMONE	31.03.06	21° 49,641' S	138° 47,066' W
TACAN	31.03.06	21° 48,391' S	138° 50,383' W
DENISE	10.04.06	21° 46,805' S	138° 53,338' W

Tableau A.1. : Caractéristiques des prélèvements de sols de Mururoa.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le tableau A.2. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)
DINDON	≤ 8,30
FAUCON	3,1 ± 1,8
ZOE	11,0 ± 1,7
VIVIANE	6,4 ± 1,5
SIMONE	18,9 ± 4,9
ANEMONE	5,9 ± 2,1
TACAN	7,0 ± 1,9
DENISE	13,2 ± 2,7
Moyenne	*9,36 ± 3,81*

Tableau A.2. : Activité ^{40}K des sols de Mururoa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en ^{40}K des sols prélevés aux 8 points de surveillance est de 9,4 Bq.kg^{-1} sec (de 3,1 à 18,9 Bq.kg^{-1} sec). La valeur de Dindon est inférieure à la limite de détection.

La figure A.3. présente l'activité en ^{40}K des sols depuis 1998.

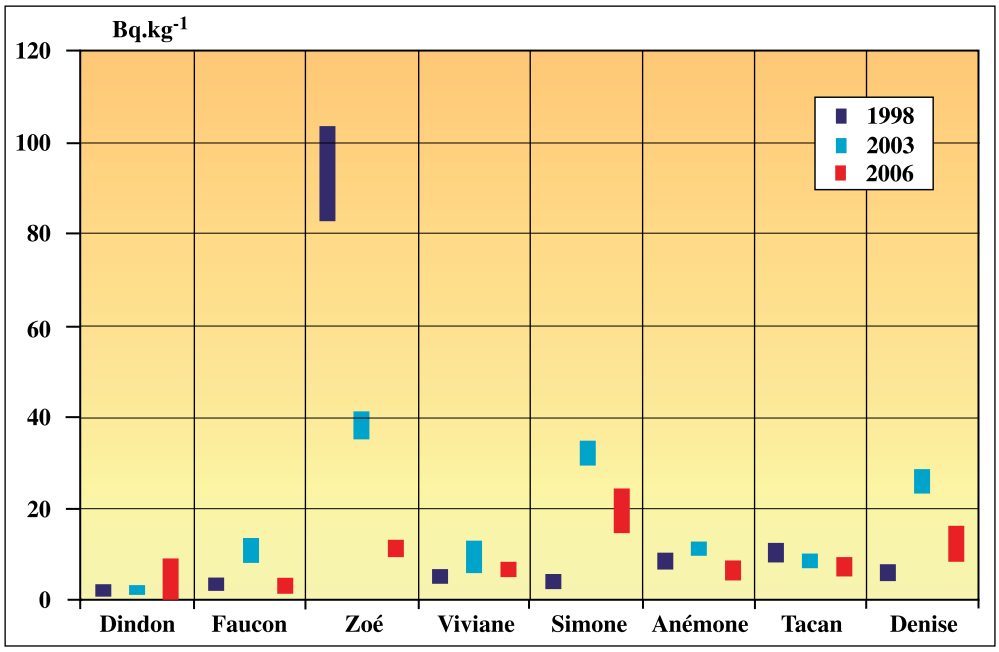


Figure A.3. : Activité ^{40}K des sols de Mururoa depuis 1998.

Les activités en ^{40}K dans les sols à Mururoa sont proches de celles mesurées dans les sédiments. Certaines valeurs sont plus élevées (Zoé, Simone et Denise).

Les différences sont probablement dues à un dépôt de sel marin (activité du sel marin, environ 300 Bq.kg^{-1}).

Famille naturelle de l'Uranium 238

Le tableau A.3. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

Lieux	Activité ^{234}Th (Bq.kg^{-1} sec)	Activité ^{226}Ra* (Bq.kg^{-1} sec)	Activité ^{210}Pb (Bq.kg^{-1} sec)
DINDON	20,7 ± 1,5	1,06 ± 0,22	49 ± 11
FAUCON	22,9 ± 1,5	0,77 ± 0,13	40,3 ± 6,2
ZOE	16,1 ± 1,3	1,85 ± 0,28	18,4 ± 2,1
VIVIANE	18,5 ± 1,3	1,46 ± 0,32	14,9 ± 5,7
SIMONE	20,4 ± 1,8	1,9 ± 0,4	26,1 ± 7,5
ANEMONE	20,3 ± 1,2	1,49 ± 0,19	16 ± 3,9
TACAN	19,9 ± 1,4	1,39 ± 0,17	17,9 ± 2,1
DENISE	14,9 ± 1,7	8,39 ± 0,41	31 ± 5,3
Moyenne	*19,2 ± 1,85*	*1,75***	*24,4***

* : calculée à partir des mesures sur les descendants du ^{226}Ra (^{214}Pb).

** : moyenne géométrique.

Tableau A.3. : Activités ^{234}Th, ^{226}Ra et ^{210}Pb des sols de Mururoa en 2006.

Les activités (^{234}Th, ^{226}Ra et ^{210}Pb) dans les sols sont proches de celles dans les sédiments.

Les figures A.4., A.5. et A.6. présentent la répartition par zone de l'activité en 1998, 2003 et 2006 dans les sols de trois radionucléides, Thorium, Radium et Plomb (^{234}Th, ^{226}Ra et ^{210}Pb), émetteurs γ de la famille naturelle de l'Uranium 238.

L'activité en ^{234}Th des sols prélevés en 2006 est comprise entre 16,1 et 22,9 Bq.kg^{-1} sec (19,2 Bq.kg^{-1} sec en moyenne).

L'activité des sols en ^{226}Ra est hétérogène. Elle est comprise entre 0,77 et 8,39 Bq.kg^{-1} sec (1,75 Bq.kg^{-1} sec en moyenne).

L'activité des sols en ^{210}Pb est aussi très hétérogène. Elle est comprise entre 14,9 et 49 Bq.kg^{-1} sec (24,4 Bq.kg^{-1} sec en moyenne).

Un important fractionnement de la chaîne naturelle de ^{238}U est observé dans les sols. Les résultats de mesure permettent de mettre en évidence une discontinuité de la chaîne au niveau du ^{226}Ra ; les activités du ^{226}Ra sont plus de 10 fois plus faibles que celles du ^{234}Th. Le radium soluble est lessivé par les importantes précipitations. Le ^{210}Pb est d'origine tellurique.

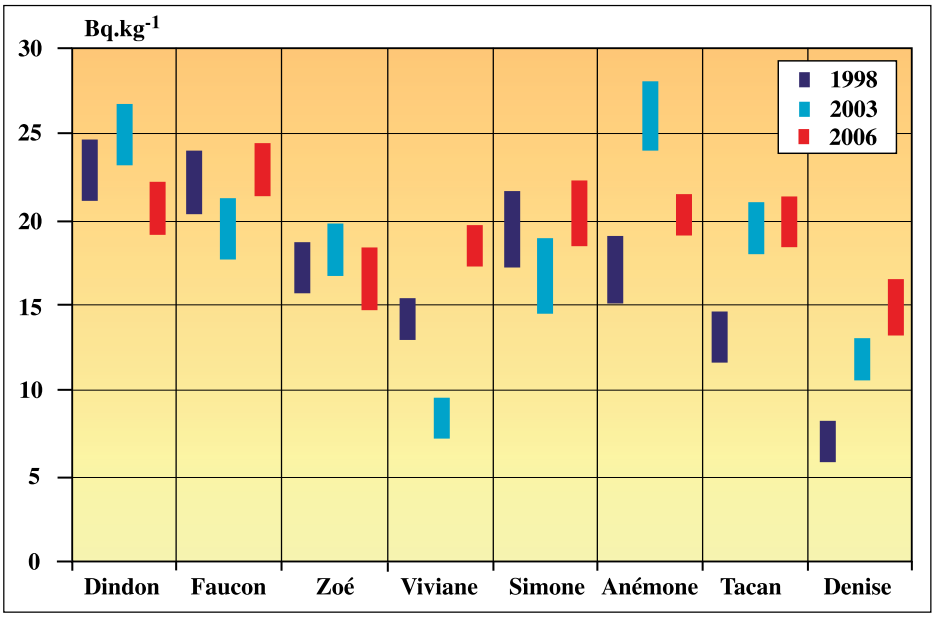


Figure A.4. : Activité ^{234}Th des sols de Mururoa depuis 1998.

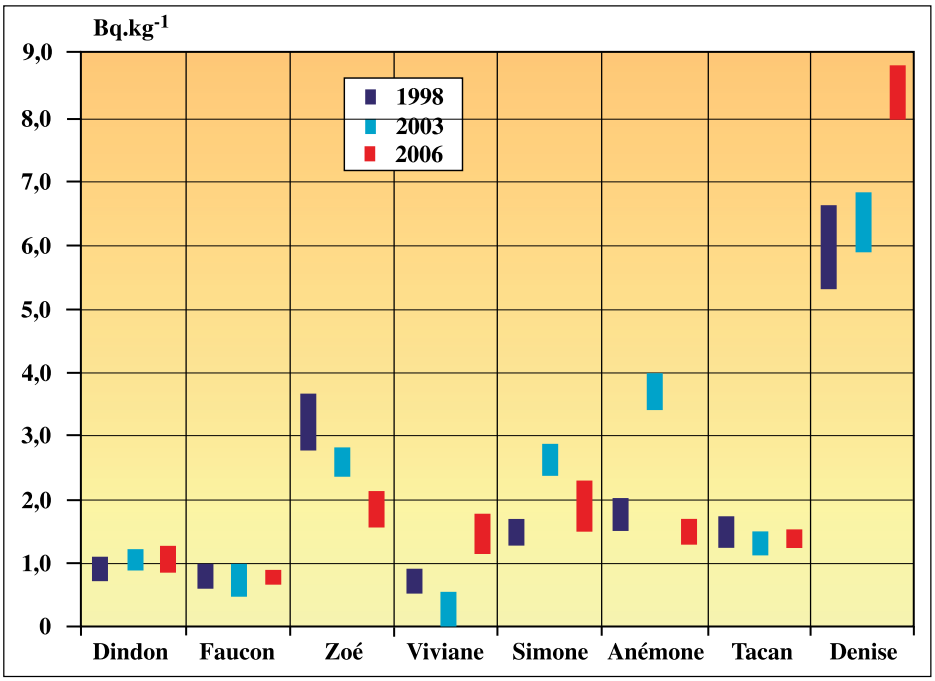


Figure A.5. : Activité ^{226}Ra des sols de Mururoa depuis 1998.

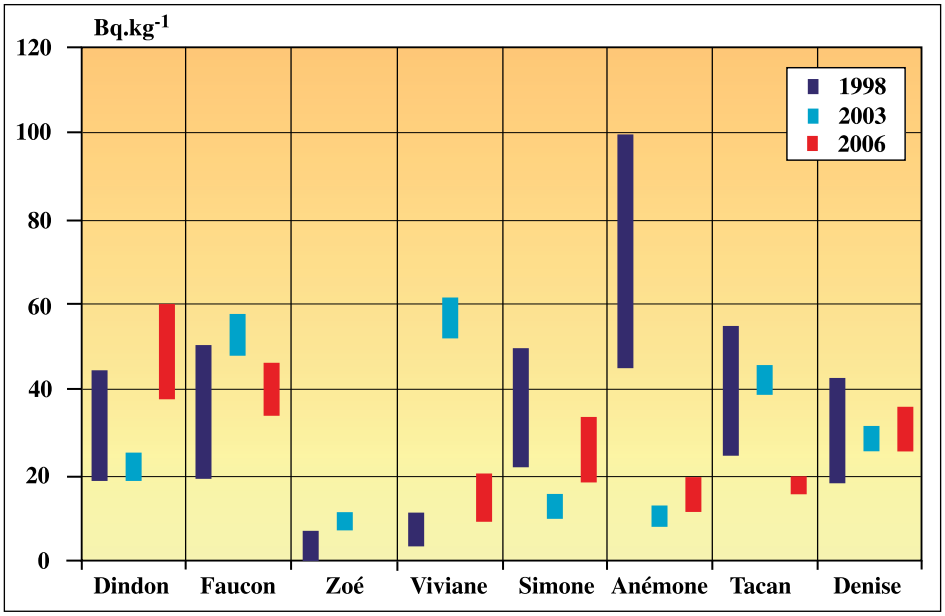


Figure A.6. : Activité ^{210}Pb des sols de Mururoa en 1998.

Uranium 235

Le tableau A.4 regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)
DINDON	≤ 0,31
FAUCON	1,31 ± 0,46
ZOE	0,72 ± 0,18
VIVIANE	1,04 ± 0,17
SIMONE	≤ 0,23
ANEMONE	1,21 ± 0,08
TACAN	1,13 ± 0,12
DENISE	≤ 2,30
Moyenne géométrique	*0,64*

Tableau A.4. : Activité ^{235}U des sols de Mururoa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en ^{235}U des sols prélevés aux 8 points de surveillance est de 0,64 Bq.kg^{-1} sec (de ≤ 0,23 à 1,31 Bq.kg^{-1} sec).

La figure A.7. présente l'activité des sols en ^{235}U.

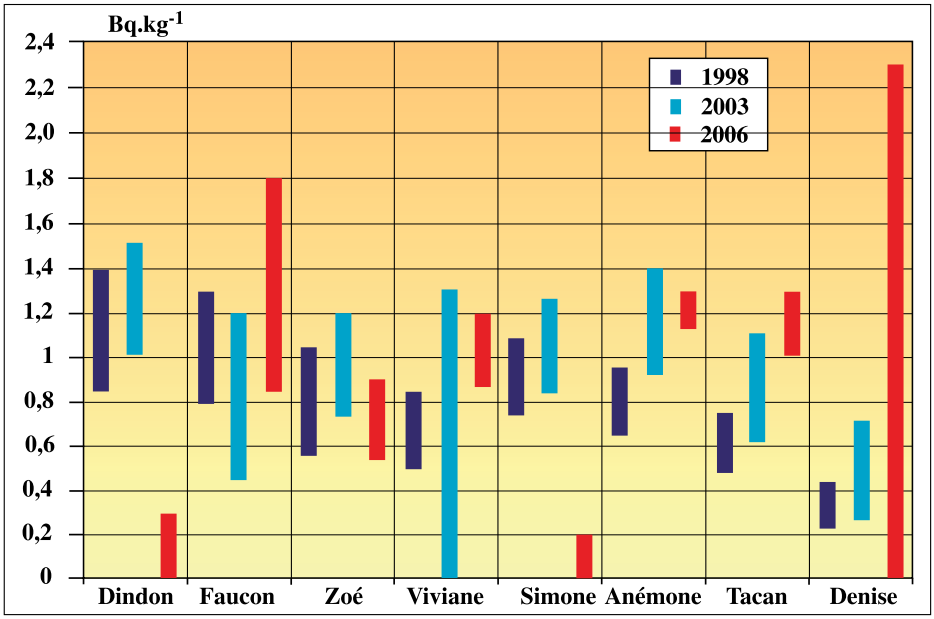


Figure A.7. : Activité ^{235}U des sols de Mururoa depuis 1998.

Les activités en ^{235}U mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le ^{234}Th. On peut en conclure qu'il y a équilibre radioactif entre ^{238}U et son descendant ^{234}Th dans les sols, puisque le rapport d'activité ^{238}U/^{235}U est de l'ordre de 20 pour l'Uranium naturel. Le tableau A.5. et la figure A.8. présentent les rapports d'activité ^{234}Th/^{235}U obtenus depuis 1998.

Lieux	Rapport $^{234}Th/^{235}U$
DINDON	non calculé
FAUCON	17,5 ± 6,2
ZOE	22,4 ± 5,9
VIVIANE	17,8 ± 3,2
SIMONE	non calculé
ANEMONE	16,8 ± 1,5
TACAN	17,6 ± 2,2
DENISE	non calculé
Moyenne	*18,4 ± 2,01*

Tableau A.5. : Rapport des activités $^{234}Th/^{235}U$ des sols de Mururoa en 2006.

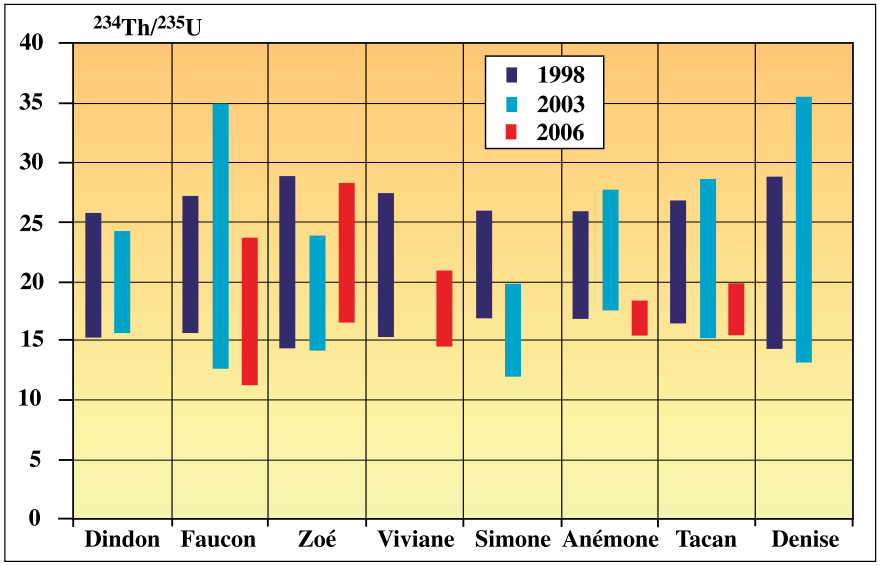


Figure A.8. : Rapport des activités $^{234}Th/^{235}U$ des sols de Mururoa depuis 1998.

Famille naturelle du Thorium 232

La radioactivité des sols en ^{228}Ac (Actinium), radionucléide émetteur γ, faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th est donnée par le tableau A.6.

Toutes les valeurs sont inférieures à la limite de détection.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)
DINDON	≤ 1,10
FAUCON	≤ 0,46
ZOE	≤ 0,34
VIVIANE	≤ 0,28
SIMONE	≤ 0,81
ANEMONE	≤ 0,40
TACAN	≤ 0,40
DENISE	≤ 0,69

Tableau A.6. : Activité ^{228}Ac des sols de Mururoa en 2006.

Radioactivité d'origine artificielle

Cobalt 60, Antimoine 125, Césium 137 et Europium 155

Le tableau A.7. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)			
	^{60}Co	^{125}Sb	^{137}Cs	^{155}Eu
DINDON	≤ 0,43	≤ 1,60	≤ 0,34	≤ 0,55
FAUCON	≤ 0,19	≤ 0,66	≤ 0,15	≤ 0,30
ZOE	≤ 0,11	≤ 0,35	≤ 0,10	≤ 0,24
VIVIANE	≤ 0,10	≤ 0,31	≤ 0,09	≤ 0,21
SIMONE	≤ 0,31	≤ 1,10	≤ 0,24	≤ 0,46
ANEMONE	≤ 0,13	≤ 0,47	0,25 ± 0,12	≤ 0,33
TACAN	≤ 0,15	≤ 0,49	0,25 ± 0,13	≤ 0,27
DENISE	≤ 0,22	≤ 0,71	0,95 ± 0,23	≤ 0,38

Tableau A.7. : Activité ^{60}Co, ^{125}Sb, ^{137}Cs et ^{155}Eu des sols de Mururoa en 2006.

Toutes les valeurs, à l'exception de Denise en ^{137}Cs, sont inférieures ou proches de la limite de détection.

La figure A.9. présente l'activité des sols en ^{137}Cs. Des valeurs équivalentes avaient été observées lors de la campagne de prélèvements de sols de 1992.

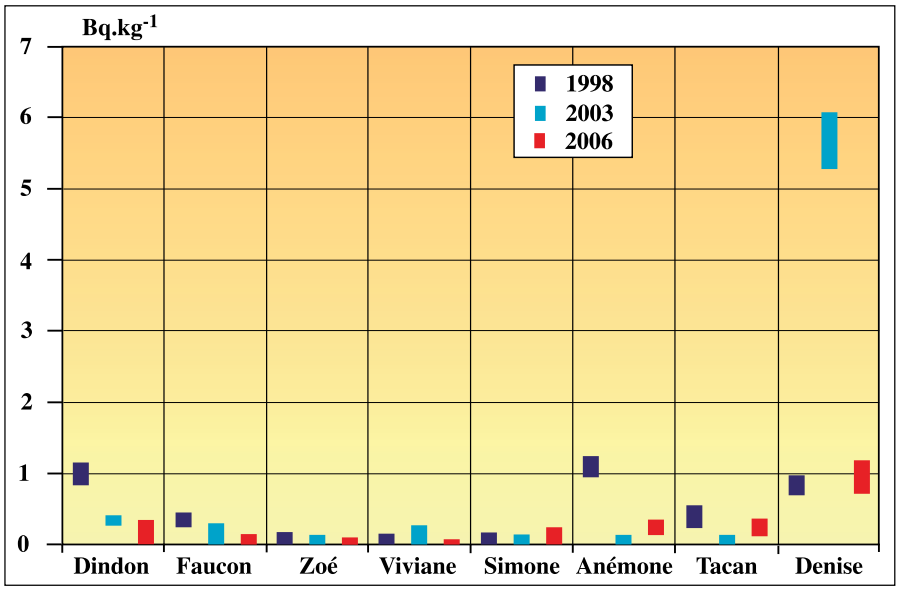


Figure A.9. : Activité ^{137}Cs des sols de Mururoa depuis 1998.

Strontium 90

Les valeurs en ^{137}Cs étant inférieures à 1 Bq.kg^{-1}, le ^{90}Sr n'a pas été mesuré.

Plutonium

Le tableau A.8. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)		Rapport $^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu$
	^{238}Pu	$^{239}Pu + ^{240}Pu$	
DINDON	0,289 ± 0,09	1,39 ± 0,17	0,208 ± 0,09
FAUCON	0,64 ± 0,47	18,1 ± 1,7	0,035 ± 0,47
ZOE	0,244 ± 0,05	2 ± 0,21	0,122 ± 0,05
VIVIANE	0,343 ± 0,04	6,84 ± 0,66	0,050 ± 0,04
SIMONE	≤ 0,038	0,389 ± 0,079	non calculé
ANEMONE	0,317 ± 0,059	4,3 ± 0,38	0,074 ± 0,015
TACAN	0,243 ± 0,053	1,89 ± 0,19	0,129 ± 0,031
DENISE	1,77 ± 0,22	34,6 ± 3,1	0,051 ± 0,008

Tableau A.8. : Activité ^{238}Pu, $^{239}Pu+^{240}Pu$ et rapport $^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu$ des sols de Mururoa en 2006.

Les activités en ^{238}Pu et en $^{239}Pu + ^{240}Pu$ des sols prélevés en 2006 varient :
de ≤ 0,038 à 1,77 Bq.kg^{-1} sec en ^{238}Pu
de 0,39 à 34,6 Bq.kg^{-1} sec en $^{239}Pu + ^{240}Pu$.

Les années précédentes et comme lors de la campagne de prélèvements de sols de 1992, les prélèvements effectués à FAUCON présentaient des valeurs les plus élevées dues aux retombées sur cette zone, de l'expérimentation aérienne PARTHENOPE réalisée en 1973. Les figures A.10. et A.11. présentent les activités des sols en ^{238}Pu et en $^{239}Pu + ^{240}Pu$ depuis 1998. Les valeurs mesurées en FAUCON sont très dispersées (contamination par tache).

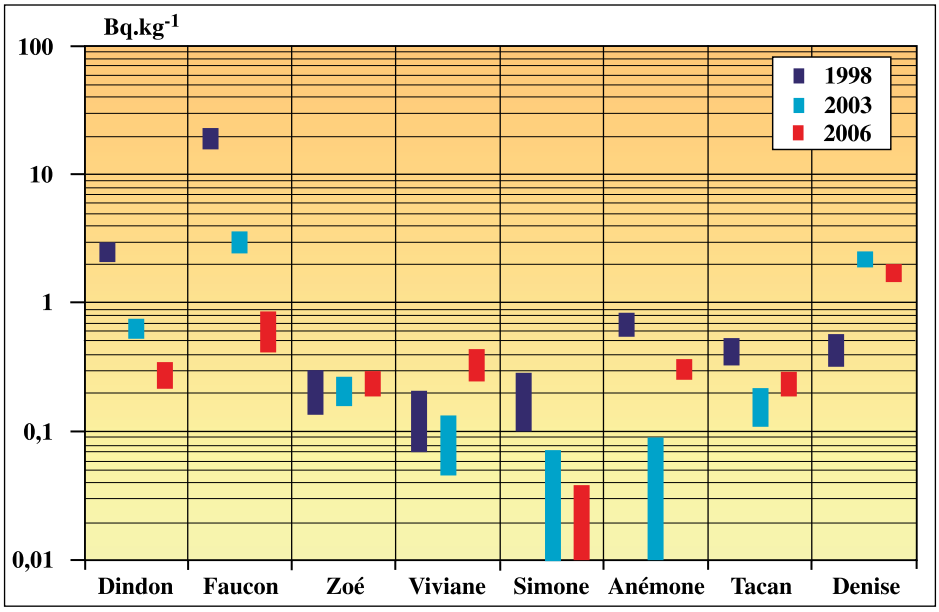


Figure A.10. : Activité ^{238}Pu des sols de Mururoa depuis 1998.

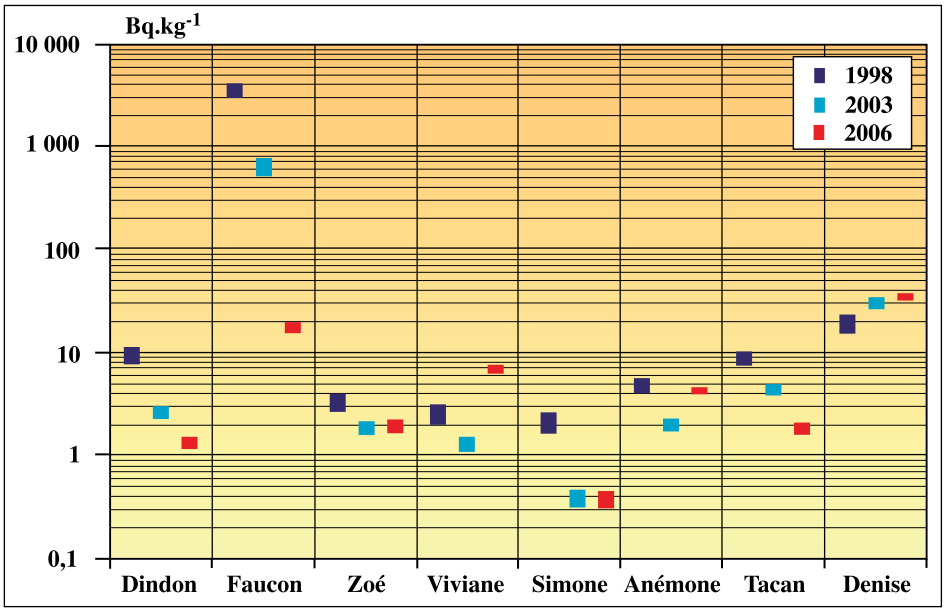


Figure A.11. : Activité en ^{239}Pu + ^{240}Pu des sols de Mururoa depuis 1998.

Le rapport des activités ^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu est très hétérogène, il varie de 0,013 à 0,21 (voir figure A.12).

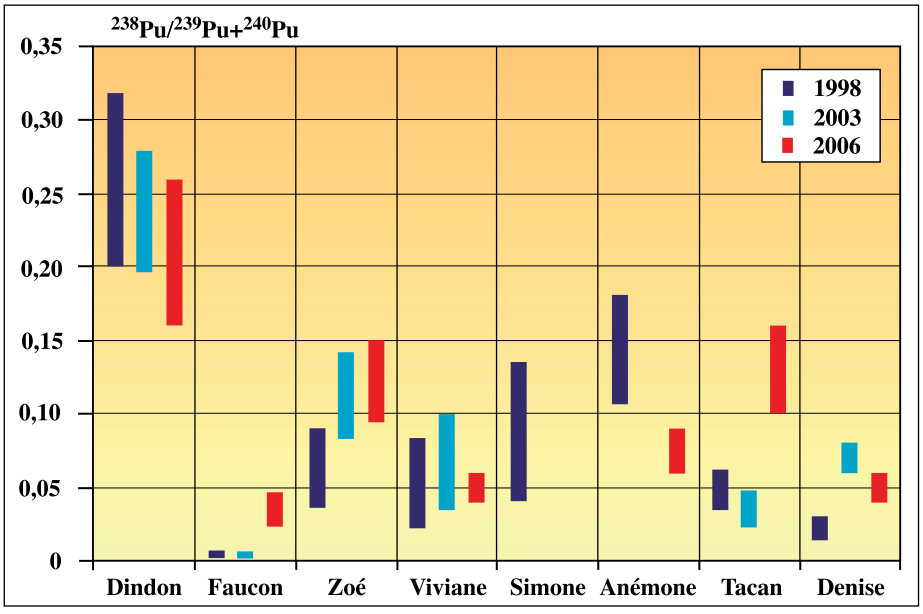


Figure A.12. : Rapport des activités ^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu des sols de Mururoa depuis 1998.

Américium 241

Le tableau A.9. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)
DINDON	≤ 0,35
FAUCON	0,98 ± 0,17
ZOE	≤ 0,15
VIVIANE	0,35 ± 0,10
SIMONE	≤ 0,26
ANEMONE	≤ 0,17
TACAN	0,18 ± 0,12
DENISE	2,86 ± 0,22

Tableau A.9. : Activité ^{241}Am des sols de Mururoa en 2006.

L'activité en ^{241}Am des sols prélevés en 2006 varie de ≤ 0,17 à 2,86 Bq.kg^{-1} sec.

La figure A.13 présente l'activité des sols en ^{241}Am depuis 1998.

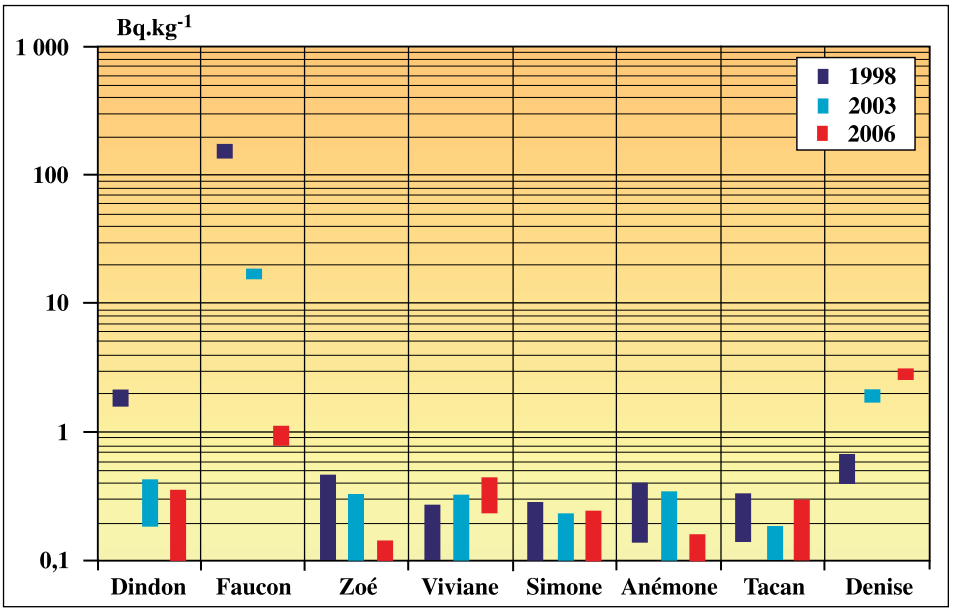


Figure A.13. : Activité ^{241}Am des sols de Mururoa depuis 1998.

Récapitulatif

Les figures A.14. et A.15. présentent respectivement les activités des principaux radionucléides naturels (^{40}K, ^{234}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb et ^{235}U) et artificiels (^{137}Cs, ^{238}Pu, ^{239}Pu + ^{240}Pu et ^{241}Am) détectés dans les sols de Mururoa en 2006.

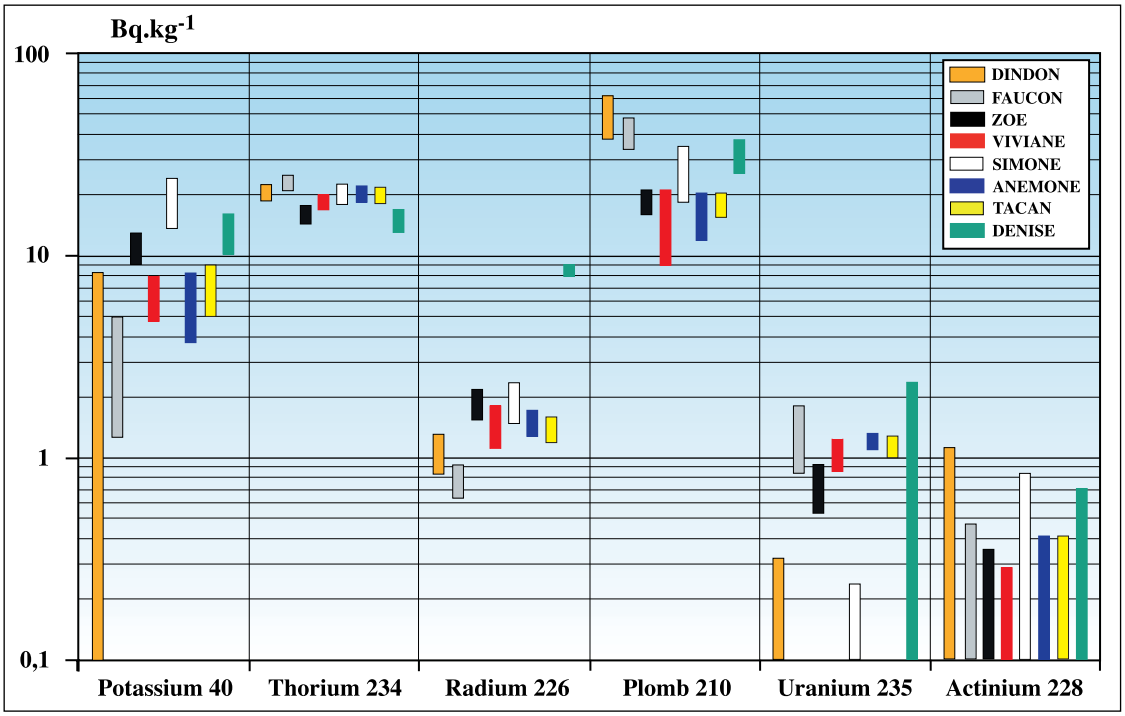


Figure A.14. : Radioactivité naturelle des sols de Mururoa en 2006.

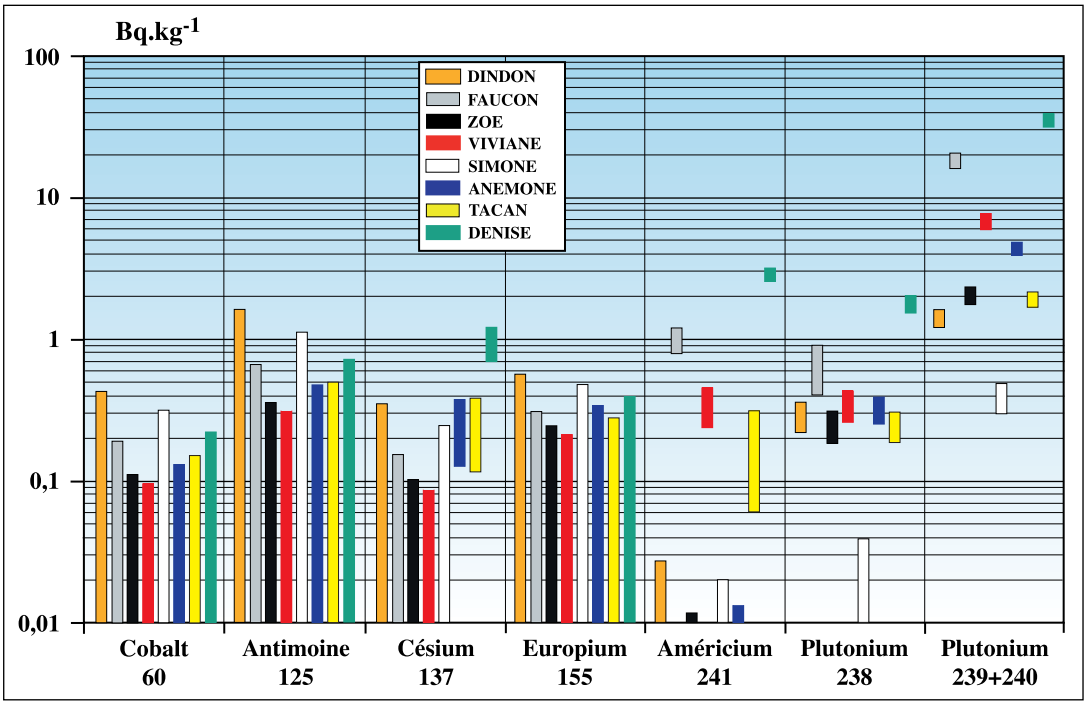


Figure A.15. : Radioactivité artificielle des sols de Mururoa en 2006.

A.2.2. – L'atoll de FANGATAUFA

Les caractéristiques des prélèvements effectués sur l'atoll de Fangataufa sont indiquées dans le tableau A.10.

Lieux	Date de prélèvement	Coordonées géographiques	
PAVILLON	28.03.06	22° 13,347' S	138° 46,892' W
TERME SUD	27.03.06	22° 16,698' S	138° 45,511' W
ECHO	27.03.06	22° 15,605' S	138° 42,605' W
FOX	27.03.06	22° 14,544' S	138° 42,307' W
KILO	27.03.06	22° 12,693' S	138° 43,723' W
EMPEREUR	27.03.06	22° 12,039' S	138° 45,409' W

Tableau A.10. : Caractéristiques des prélèvements de sols de Fangataufa.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le tableau A.11. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)
PAVILLON	1,90 ± 1,20
TERME SUD	2,44 ± 0,44
ECHO	2,37 ± 0,90
FOX	1,80 ± 1,20
KILO	1,50 ± 0,91
EMPEREUR	≤ 4,10
Moyenne	*2,01 ± 0,27*

Tableau A.11. : Activité ^{40}K des sols de Fangataufa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en ^{40}K des sols prélevés est de 2,01 ± 0,27 Bq.kg^{-1} sec (de ≤ 4,1 à 2,44 Bq.kg^{-1} sec).

La figure A.16 présente l'activité en ^{40}K des sols depuis 1998.

Les valeurs mesurées en 2006 sont, comme en 2003, plus faibles et moins dispersées que celles de 1998.

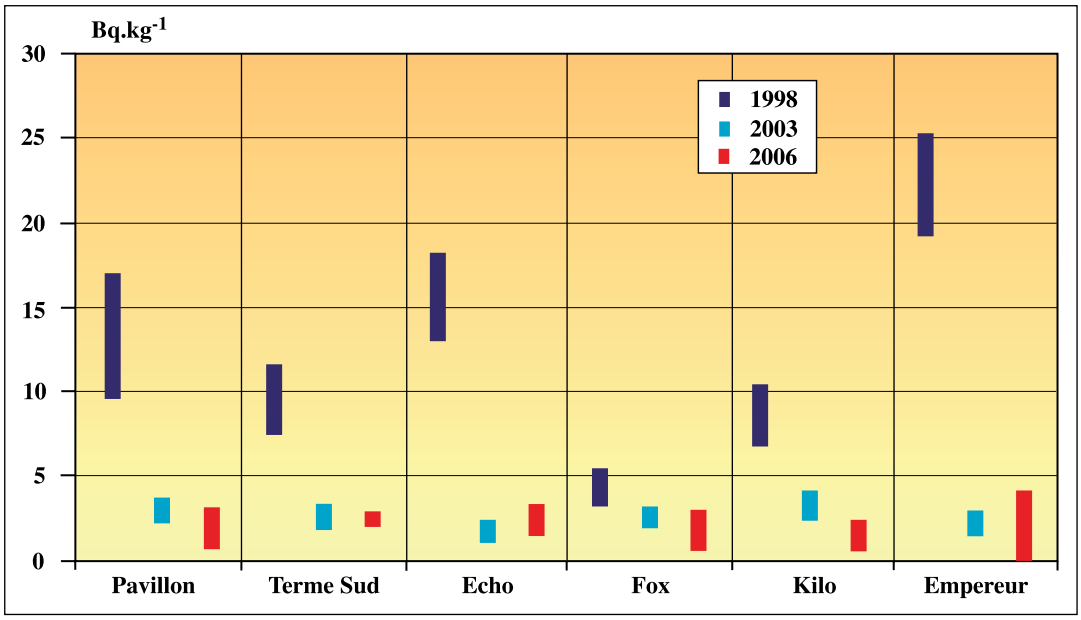


Figure A.16. : Activité ^{40}K des sols de Fangataufa depuis 1998.

Famille naturelle de l'Uranium 238

Le tableau A.12. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

Lieux	Activité ^{234}Th (Bq.kg^{-1} sec)	Activité ^{226}Ra* (Bq.kg^{-1} sec)	Activité ^{210}Pb (Bq.kg^{-1} sec)
PAVILLON	22,3 ± 1,2	0,77 ± 0,15	11,4 ± 4
TERME SUD	25,7 ± 1,4	0,90 ± 0,11	19,9 ± 5,4
ECHO	32,7 ± 1,7	0,76 ± 0,15	11,2 ± 4,3
FOX	24,5 ± 1,6	0,82 ± 0,21	15,9 ± 4,2
KILO	20,8 ± 1,4	0,83 ± 0,13	6,2 ± 5,5
EMPEREUR	26,3 ± 2,2	1,16 ± 0,21	24 ± 9,8
Moyenne	*25,4 ± 3,1*	*0,9***	*13,5***

* : calculée à partir des mesures sur les descendants du ^{226}Ra (^{214}Pb, ^{214}Bi).

** : moyenne géométrique.

Tableau A.12. : Activités ^{234}Th, ^{226}Ra et ^{210}Pb des sols de Fangataufa en 2006.

Les figures A.17., A.18. et A.19. présentent l'évolution de l'activité depuis 1998 dans les sols de trois radionucléides (^{234}Th, ^{226}Ra et ^{210}Pb), émetteurs γ de la famille naturelle de l'Uranium 238.

L'activité en ^{234}Th des sols prélevés en 2006 est comprise entre 20,8 et 32,7 Bq.kg^{-1} sec (27,6 Bq.kg^{-1} sec en moyenne).

L'activité des sols en ^{226}Ra est comprise entre 0,76 et 1,16 Bq.kg^{-1} sec.

L'activité des sols en ^{210}Pb est comprise entre 6,2 et 24 Bq.kg^{-1} sec.

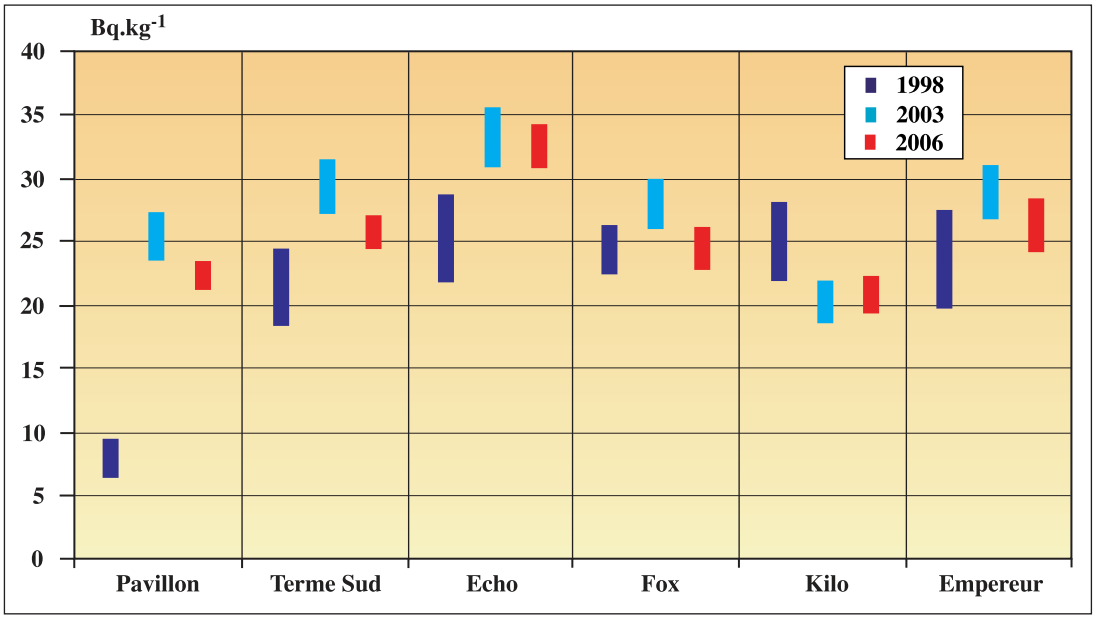


Figure A.17. : Activité ^{234}Th des sols de Fangataufa depuis 1998.

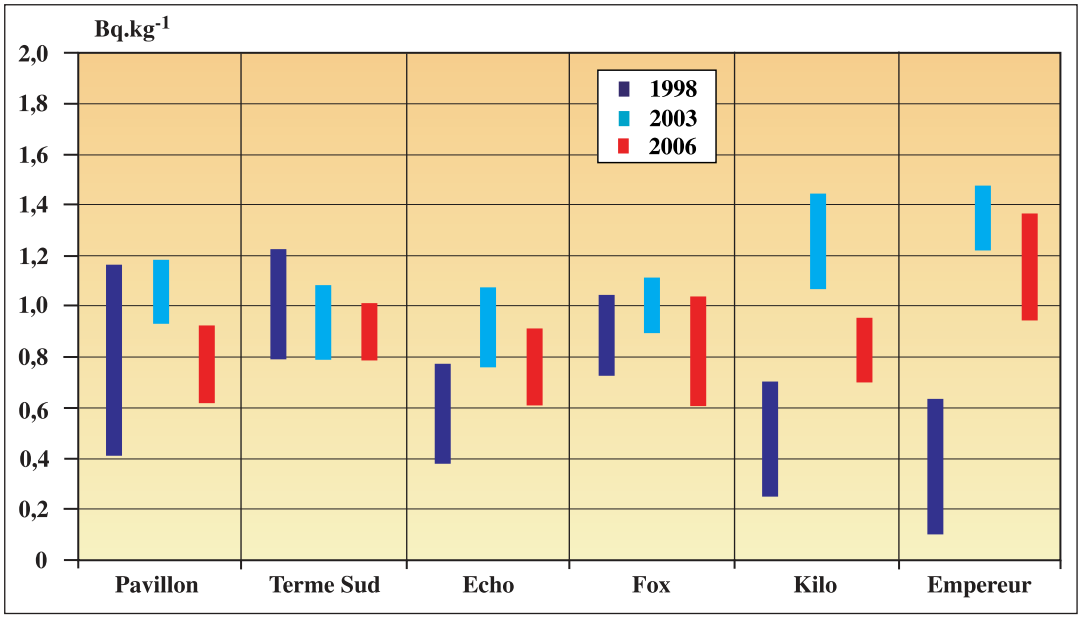


Figure A.18. : Activité ^{226}Ra des sols de Fangataufa depuis 1998.

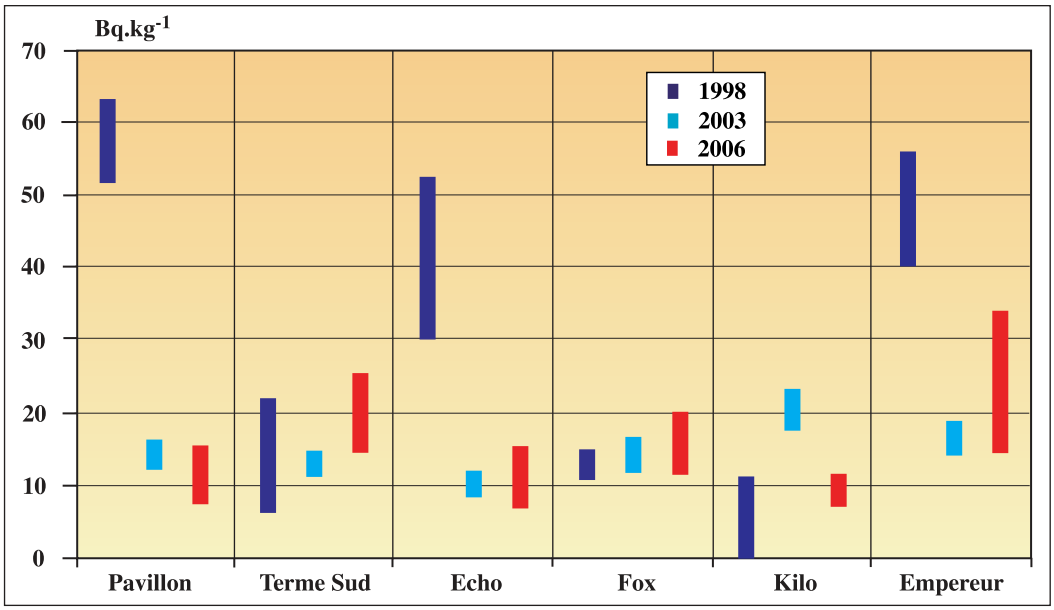


Figure A.19. : Activité ^{210}Pb des sols de Fangataufa depuis 1998.

Comme pour les prélèvements de Mururoa, un important fractionnement de la chaîne naturelle de ^{238}U est observé dans les sols de Fangataufa, les activités du ^{226}Ra étant plus de 10 fois plus faibles que celles du ^{234}Th.

Les valeurs dans les sols à Fangataufa sont proches de celles mesurées dans les sédiments.

Uranium 235

Le tableau A.13. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)
PAVILLON	1,04 ± 0,08
TERME SUD	1,30 ± 0,12
ECHO	1,52 ± 0,23
FOX	0,96 ± 0,28
KILO	1,09 ± 0,60
EMPEREUR	1,32 ± 0,24
Moyenne	*1,21 ± 0,17*

Tableau A.13. : Activité ^{235}U des sols de Fangataufa en 2006.

La figure A.20. présente l'activité des sols en ^{235}U depuis 1998.

En 2006, l'activité moyenne en ^{235}U des sols prélevés aux 6 points de surveillance est de 1,2 Bq.kg^{-1} sec (de 0,96 à 1,52 Bq.kg^{-1}sec).

Comme pour les sédiments, les valeurs relevées sont légèrement plus élevées à Fangataufa.

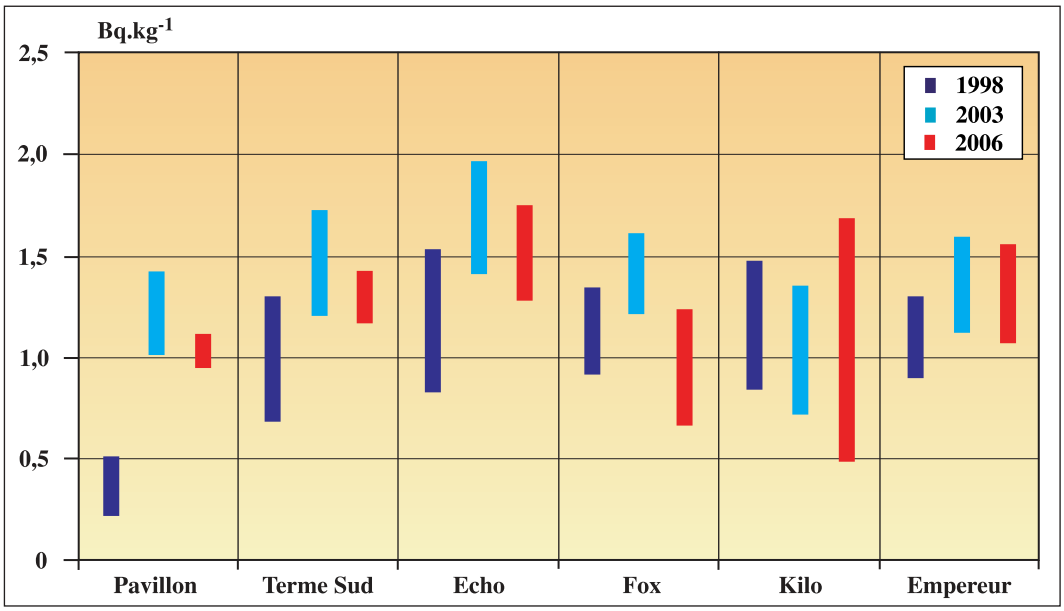


Figure A.20. : Activité ^{235}U des sols de Fangataufa depuis 1998.

Les activités en ^{235}U mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le ^{234}Th. On peut en conclure qu'il y a équilibre radioactif entre ^{238}U et son descendant ^{234}Th dans les sols, puisque le rapport d'activité $^{238}U/^{235}U$ est de l'ordre de 20 pour l'Uranium naturel. Le tableau A.14. et la figure A.21. présentent les rapports d'activité $^{234}Th/^{235}U$ en 2006.

Lieux	Rapport $^{234}Th/^{235}U$
PAVILLON	21,4 ± 1,9
TERME SUD	19,8 ± 2,1
ECHO	21,5 ± 3,4
FOX	25,5 ± 7,6
KILO	19,1 ± 10,6
EMPEREUR	19,9 ± 4,0
Moyenne	*21,2 ± 1,9*

Tableau A.14. : Rapport des activités $^{234}Th/^{235}U$ des sols de Fangataufa en 2006.

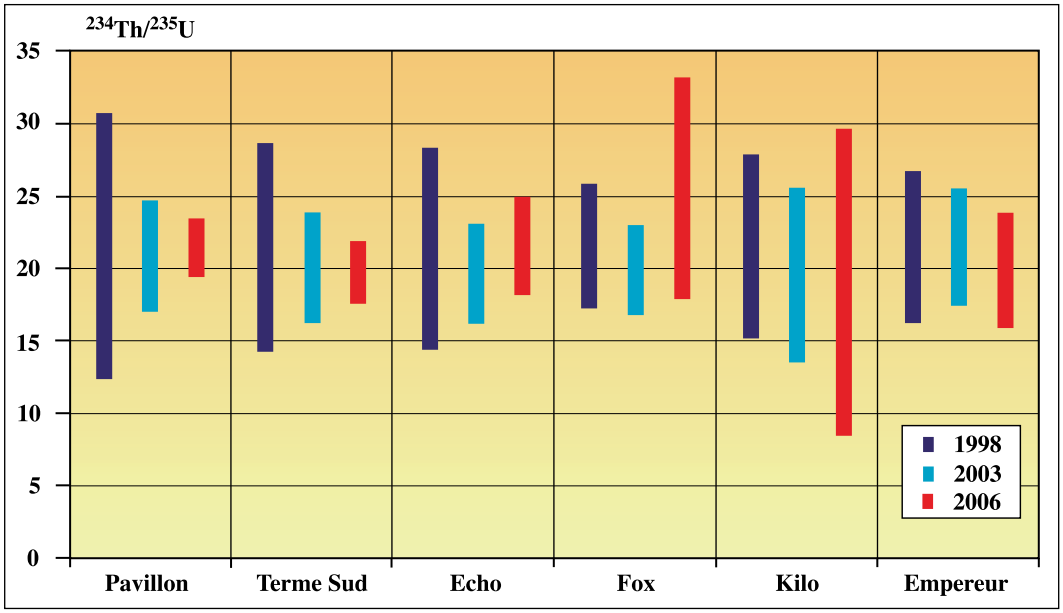


Figure A.21. : Rapport des activités $^{234}Th/^{235}U$ des sols de Fangataufa depuis 1998.

Famille naturelle du Thorium 232

La radioactivité des sols en ^{228}Ac (Actinium), radionucléide émetteur γ faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th, est donnée dans le tableau A.15. Les différentes valeurs sont inférieures aux limites de détection.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)
PAVILLON	≤ 0,22
TERME SUD	≤ 0,25
ECHO	≤ 0,22
FOX	≤ 0,31
KILO	≤ 0,31
EMPEREUR	≤ 0,72

Tableau A.15. : Activité ^{228}Ac des sols de Fangataufa en 2006.

Radioactivité d'origine artificielle

Cobalt 60, Antimoine 125, Césium 137 et Europium 155

Le tableau A.16. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)			
	^{60}Co	^{125}Sb	^{137}Cs	^{155}Eu
PAVILLON	≤ 0,077	≤ 0,26	≤ 0,071	≤ 0,19
TERME SUD	≤ 0,092	≤ 0,30	≤ 0,083	≤ 0,22
ECHO	≤ 0,085	≤ 0,27	≤ 0,072	≤ 0,51
FOX	≤ 0,110	≤ 0,37	≤ 0,096	0,25 ± 0,11
KILO	0,208 ± 0,045	≤ 0,44	0,269 ± 0,041	1,31 ± 0,50
EMPEREUR	≤ 0,28	≤ 0,092	≤ 0,230	≤ 0,42

Tableau A.16. : Activité ^{60}Co, ^{125}Sb, ^{137}Cs et ^{155}Eu des sols de Fangataufa en 2006.

La zone KILO contaminée en 1966 par les retombées dues à l'expérimentation aérienne RIGEL présente les activités les plus importantes.

Les figures A.22. à A.24 présentent les activités en ^{60}Co, ^{137}Cs et ^{155}Eu des sols depuis 1998.

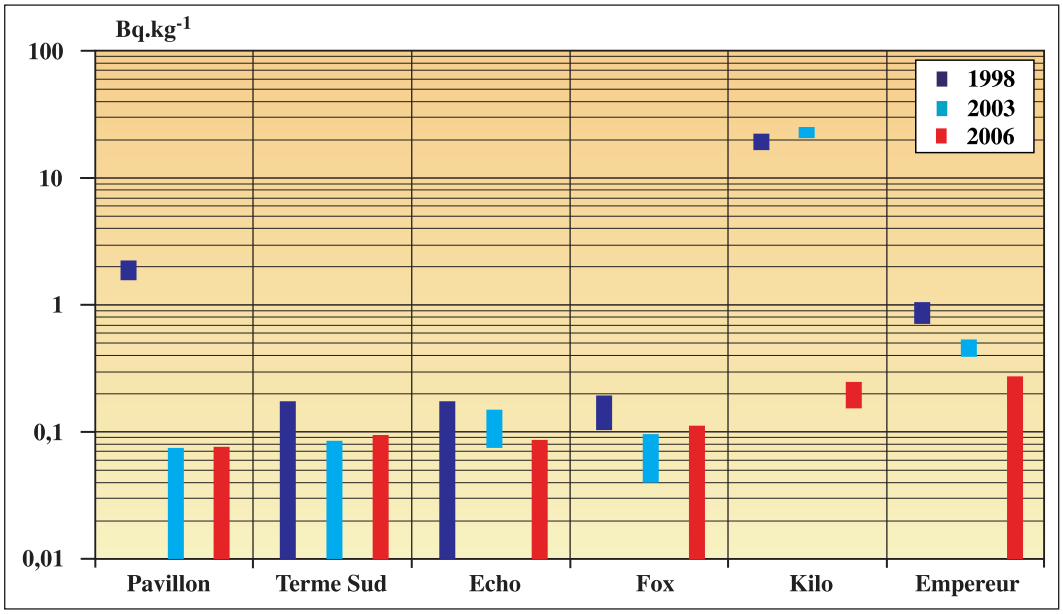


Figure A.22. : Activité ^{60}Co des sols de Fangataufa depuis 1998.

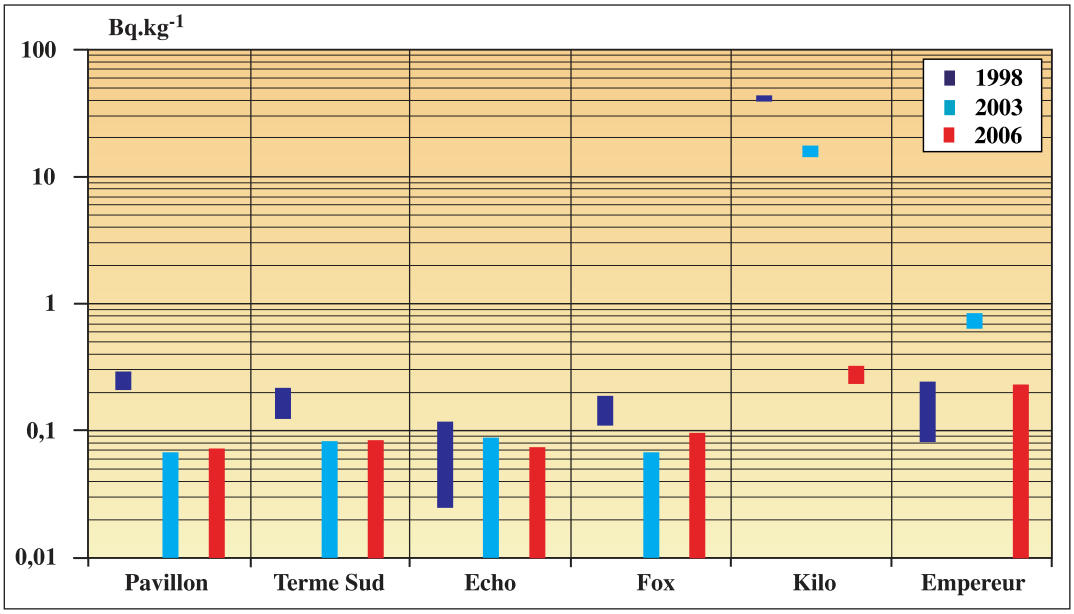


Figure A.23. : Activité ^{137}Cs des sols de Fangataufa depuis 1998.

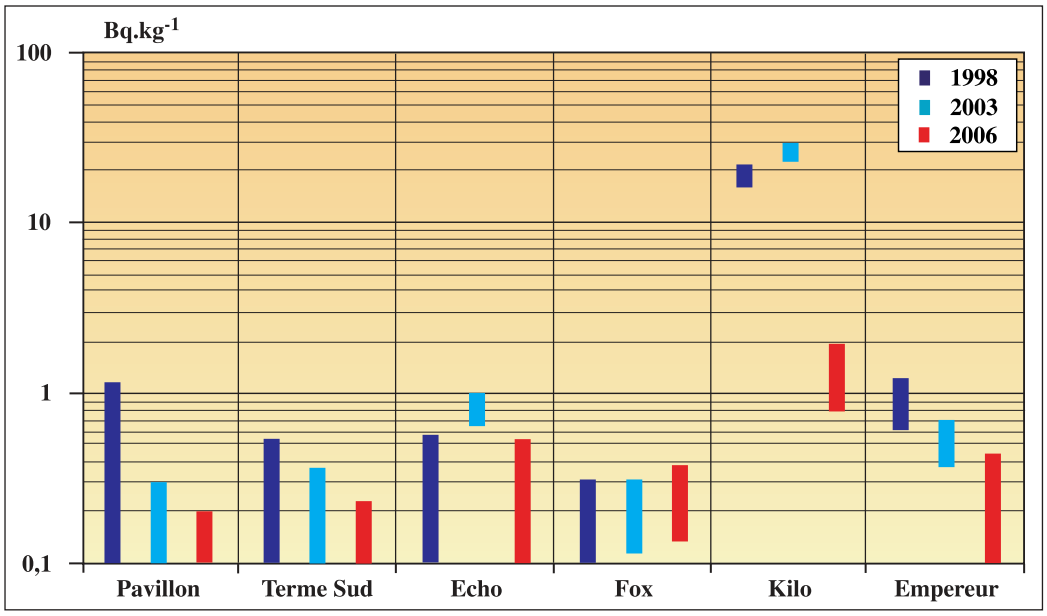


Figure A.24. : Activité ^{155}Eu des sols de Fangataufa depuis 1998.

Strontium 90

Les valeurs mesurées en césium 137 étant inférieures à 1 Bq.kg^{-1}, la recherche du strontium 90 n'a pas été faîte.

Plutonium

Le tableau A.17. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)		Rapport
	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu	^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu
PAVILLON	0,19 ± 0,06	0,47 ± 0,09	0,40 ± 0,15
TERME SUD	1,02 ± 0,12	3,41 ± 0,31	0,30 ± 0,04
ECHO	12,6 ± 1,10	37,5 ± 3,1	0,34 ± 0,04
FOX	5,47 ± 0,48	15,7 ± 1,3	0,35 ± 0,04
KILO	20,3 ± 1,90	57 ± 4,8	0,36 ± 0,04
EMPEREUR	2,12 ± 0,21	6,68 ± 0,57	0,32 ± 0,04

Tableau A.17. : Activité ^{238}Pu, ^{239}Pu + ^{240}Pu et rapport ^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu des sols de Fangataufa en 2006.

Les activités en ^{238}Pu et en ^{239}Pu + ^{240}Pu des sols prélevés en 2006 varient :
de 0,19 à 20,3 Bq.kg^{-1} sec pour le ^{238}Pu
de 0,47 à 57 Bq.kg^{-1} sec pour le ^{239}Pu + ^{240}Pu.

Le rapport des activités ^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu est relativement constant, il est de l'ordre de 0,32 (Fig. A.28.).

Les prélèvements effectués en KILO présentent les valeurs les plus élevées.

Les figures A.25. et A.26. présentent les activités des sols en ^{238}Pu et en ^{239}Pu + ^{240}Pu depuis 1998 et la figure A.27. le rapport ^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu depuis 1998.

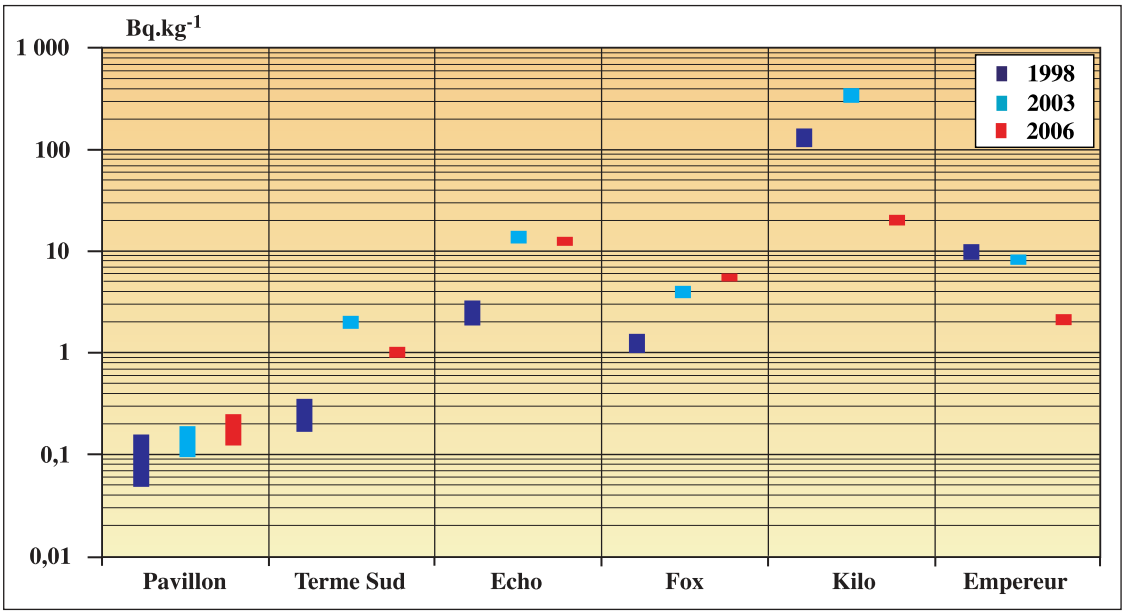


Figure A.25. : Activité ^{238}Pu des sols de Fangataufa depuis 1998.

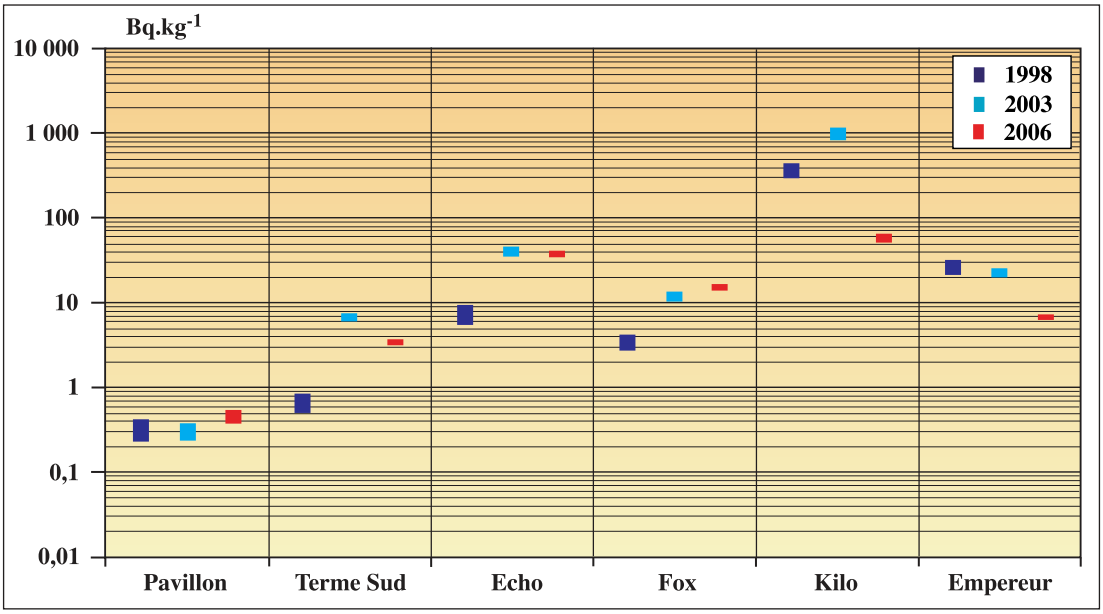


Figure A.26. : Activité ^{239}Pu + ^{240}Pu des sols de Fangataufa depuis 1998.

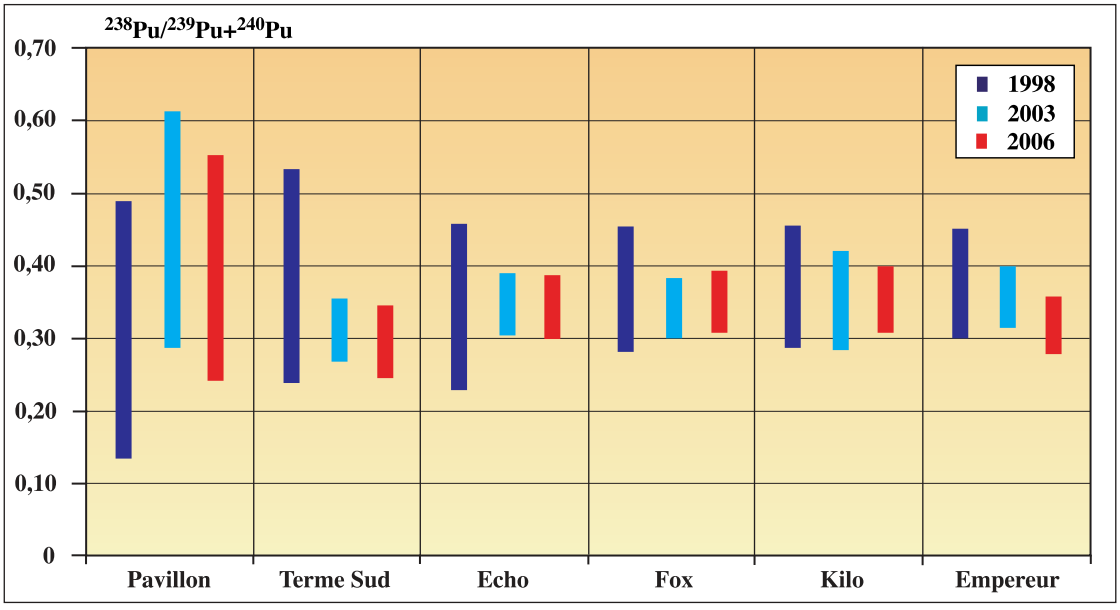


Figure A.27. : Rapport des activités $^{238}Pu/^{239}Pu$ + ^{240}Pu des sols de Fangataufa depuis 1998.

Américium 241

Le tableau A.18. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg^{-1} sec)
PAVILLON	≤ 0,14
TERME SUD	≤ 0,94
ECHO	2,86 ± 0,35
FOX	1,26 ± 0,20
KILO	6,56 ± 0,69
EMPEREUR	0,61 ± 0,16

Tableau A.18. : Activité ^{241}Am des sols de Fangataufa en 2006.

La figure A.28. présente les résultats depuis 1998.

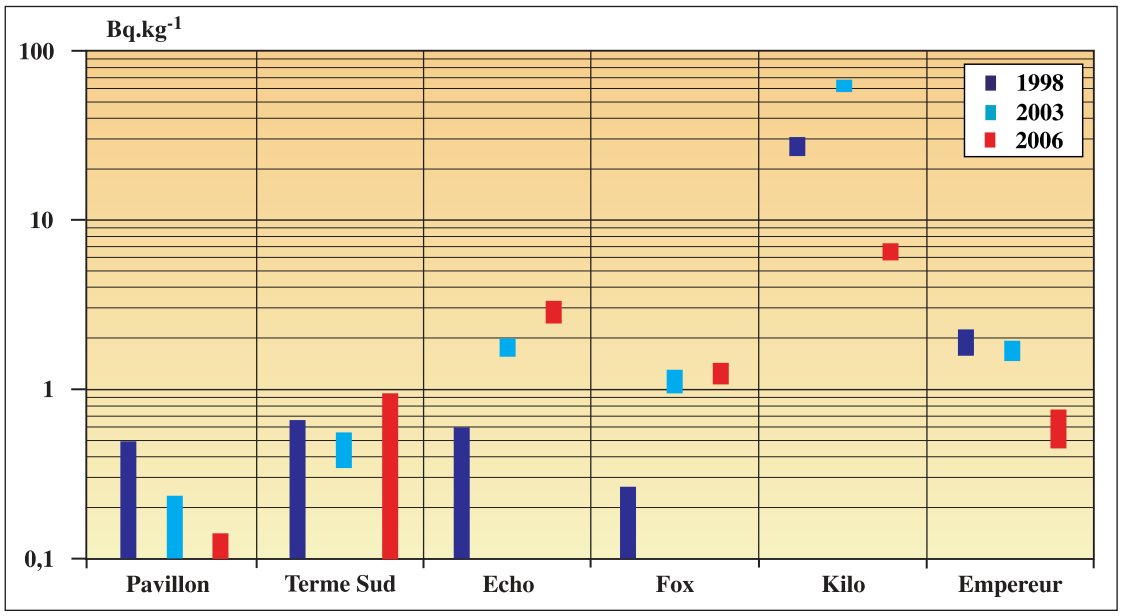


Figure A.28. : Activité ^{241}Am des sols de Fangataufa depuis 1998.

Récapitulatif

Les figures A.29. et A.30. présentent les activités des principaux radionucléides naturels (^{40}K, ^{234}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb et ^{235}U) et artificiels (^{60}Co, ^{137}Cs, ^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu) détectés dans les sols de Fangataufa en 2006.

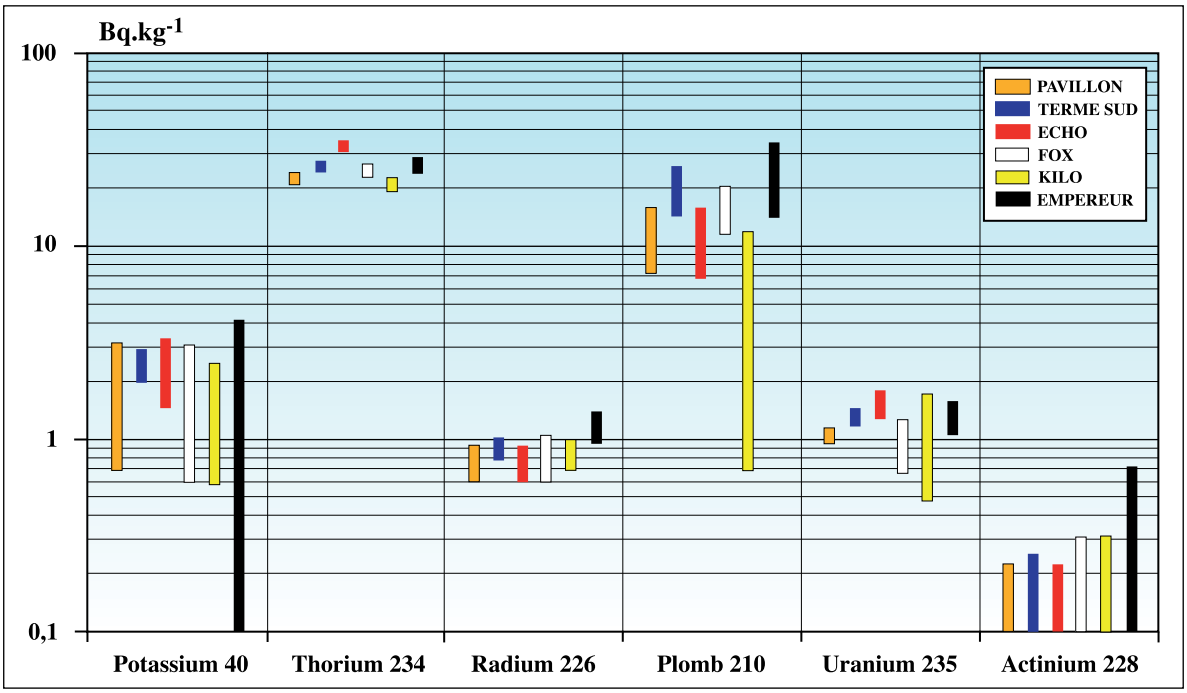


Figure A.29. : Radioactivité naturelle des sols de Fangataufa en 2006.

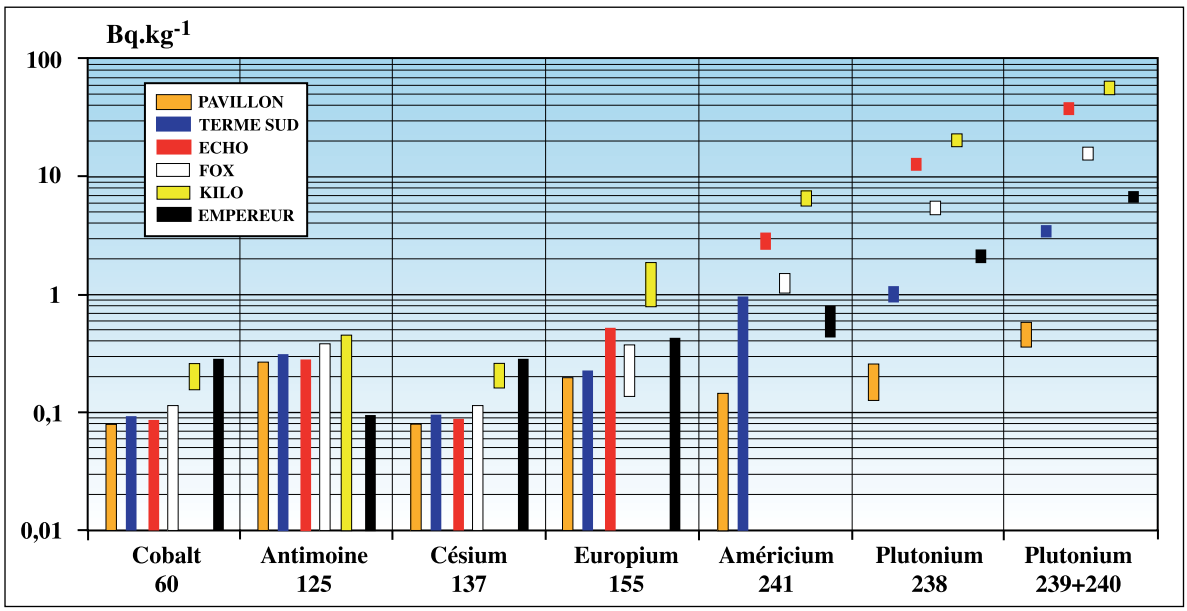


Figure A.30. : Radioactivité artificielle des sols de Fangataufa en 2006.

Annexe B

LA SURVEILLANCE DES EAUX DES LAGONS (Sr et Pu)

Annexe B
LA SURVEILLANCE DES EAUX DES LAGONS (Sr et Pu)

B.1. - MURUROA

Strontium 90

Conformément au « Guide de Surveillance », le strontium 90 et le plutonium ont été mesurés en 2006 (année paire).

Zones	Lieux	Activité ($Bq.m^{-3}$)
Pourtour du lagon	APRION 06	0,50 ± 0,15
	GORGONE 05	0,81 ± 0,19
	JANIE 32	0,85 ± 0,17
	ORQUE 41	1,04 ± 0,23
	SCALAIRE 15	0,91 ± 0,20
	ZANCLUS 25	0,84 ± 0,18
Centre du lagon	LABRE 32	0,83 ± 0,17
	PIEUVRE 27	0,98 ± 0,23
	UMBRE 24	0,77 ± 0,19
Moyenne		*0,84 ± 0,10*

Tableau B.1. : Activité du ^{90}Sr dans les eaux du lagon de Mururoa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en ^{90}Sr des eaux de surface du lagon de Mururoa est 0,84 ± 0,1 $Bq.m^{-3}$.

L'activité en ^{90}Sr des eaux du lagon est du même ordre de grandeur que celle des eaux océaniques polynésiennes.

La figure B.1. donne, par année de prélèvement, la moyenne des valeurs du strontium.

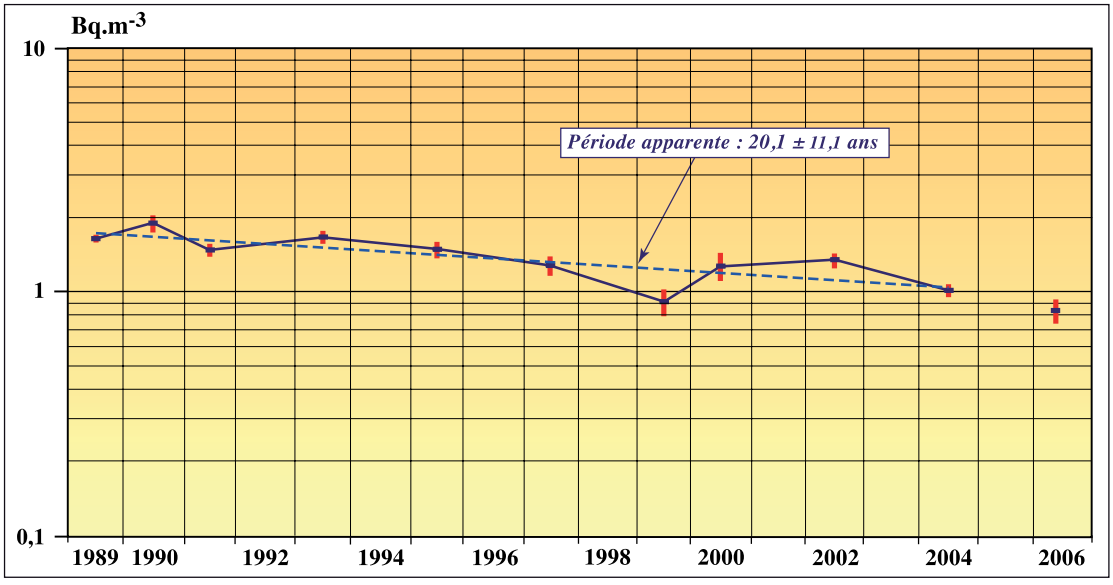


Figure B.1. : Evolution de l'activité moyenne en ^{90}Sr dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1989.

Cette évolution présente une décroissance avec une période apparente de 20 ± 11 ans comparable avec celle déjà constaté pour le ^{137}Cs.

À l'aide de cette période apparente de 20 ans, les valeurs mesurées sur les 73 échantillons prélevés depuis 1989 sont ramenées au 1er mai 2006.

La figure B.2. donne par année de prélèvement les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne des valeurs est de 0,98 ± 0,04 Bq. m^{-3}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,47 ; 1,50] traduit la disposition des résultats.

Les valeurs 2006 qui varient entre 0,50 et 1,04 sont comprises dans cet intervalle.

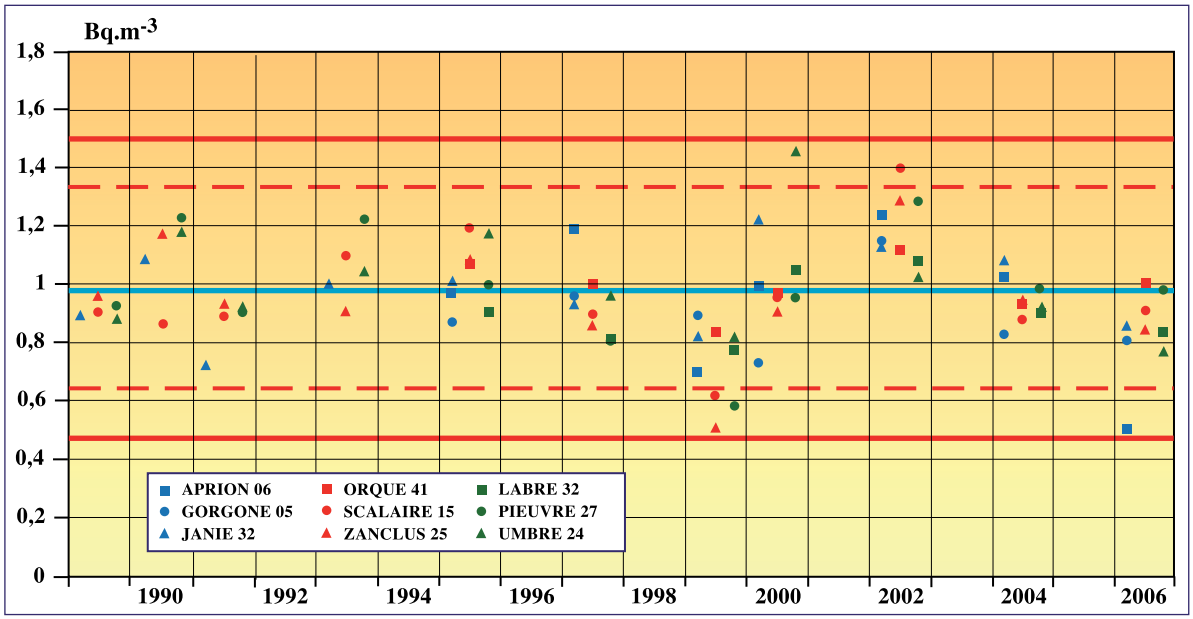


Figure B.2. : Activité du ^{90}Sr dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1989.
(valeurs ramenées au 01/05/06).

Rapport Césium 137 / Strontium 90

Dans les eaux océaniques, le rapport des activités $^{137}Cs/^{90}Sr$ est stable, de l'ordre de 1,66. Les mesures dans l'eau du lagon de Mururoa en 2006 donnent un rapport moyen de 1,74 (Tableau B.2.).

Zones	Lieux	Rapport
Pourtour du lagon	APRION 06	3,02 ± 1,25
	GORGONE 05	1,37 ± 0,47
	JANIE 32	1,59 ± 0,53
	ORQUE 41	1,50 ± 0,51
	SCALAIRE 15	1,29 ± 0,48
	ZANCLUS 25	1,69 ± 0,58
Centre du lagon	LABRE 32	1,90 ± 0,60
	PIEUVRE 27	1,56 ± 0,53
	UMBRE 24	1,74 ± 0,60
Rapport des valeurs moyennes		*1,74 ± 0,36*

Tableau B.2. : Rapport des activités $^{137}Cs/^{90}Sr$ des eaux du lagon de Mururoa en 2006.

La figure B.3. donne par année de prélèvement, les valeurs des 67 rapports $^{137}Cs/^{90}Sr$ calculés depuis 1989.

La moyenne des valeurs est de 1,66 ± 0,08. l'intervalle de probabilité 99,7 % [0,68 ; 2,63] traduit la dispersion des valeurs. À l'exception de la valeur d'APRION 06 (3,02), les autres valeurs 2006 qui varient entre 1,29 et 1,90 sont comprises dans cet intervalle.

En 1989, il n'y a pas eu de mesure ^{137}Cs en SCALAIRE 15.

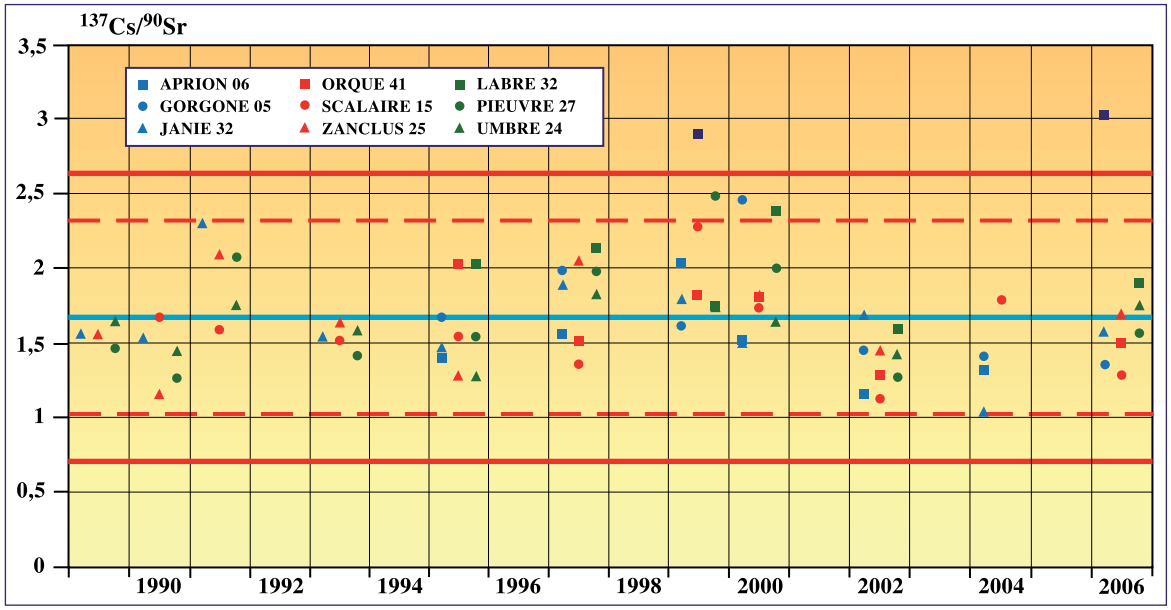


Figure B.3. : Rapport des activités $^{137}Cs/^{90}Sr$ des eaux du lagon de Mururoa depuis 1989.

Plutonium

Conformément au « Guide de Surveillance », le plutonium a été recherché cette année. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau B.3.

Zones	Lieux	^{238}Pu (Bq.m^{-3})	$^{239}Pu + ^{240}Pu$ (Bq.m^{-3})	Rapport ^{238}Pu / $^{239}Pu + ^{240}Pu$
Pourtour du lagon	APRION 06	≤ 0,032	0,038 ± 0,014	non calculé
	GORGONE 05	0,022 ± 0,007	0,075 ± 0,013	0,29 ± 0,11
	JANIE 32	0,026 ± 0,008	0,099 ± 0,015	0,26 ± 0,09
	ORQUE 41	0,067 ± 0,016	0,405 ± 0,050	0,17 ± 0,04
	SCALAIRE 15	0,050 ± 0,012	0,259 ± 0,031	0,19 ± 0,05
	ZANCLUS 25	0,053 ± 0,013	0,336 ± 0,038	0,16 ± 0,04
Centre du lagon	LABRE 32	0,077 ± 0,015	0,379 ± 0,045	0,20 ± 0,05
	PIEUVRE 27	0,054 ± 0,012	0,279 ± 0,033	0,19 ± 0,05
	UMBRE 24	0,037 ± 0,011	0,323 ± 0,037	0,11 ± 0,04
Moyenne		*0,049 ± 0,013*	*0,24 ± 0,09*	*0,20 ± 0,05*

Tableau B.3. : Activité en ^{238}Pu et $^{239}Pu + ^{240}Pu$ des eaux du lagon de Mururoa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en plutonium des eaux de surface du lagon de Mururoa est de 0,049 Bq.m^{-3} en ^{238}Pu et de 0,24 Bq.m^{-3} en ^{239}Pu + ^{240}Pu.

Les activités en plutonium sont sans changement par rapport aux années précédentes. Le rapport moyen ^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu est de 0,20 ± 0,05.

Plutonium 238

La figure B.4. donne par année les valeurs mesurées sur les 84 échantillons prélevés depuis 1987. La moyenne géométrique est de 0,054. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,01 ; 0,29] traduit la dispersion des résultats. Les valeurs significatives 2006 qui varient entre 0,022 et 0,077 sont comprises dans cet intervalle.

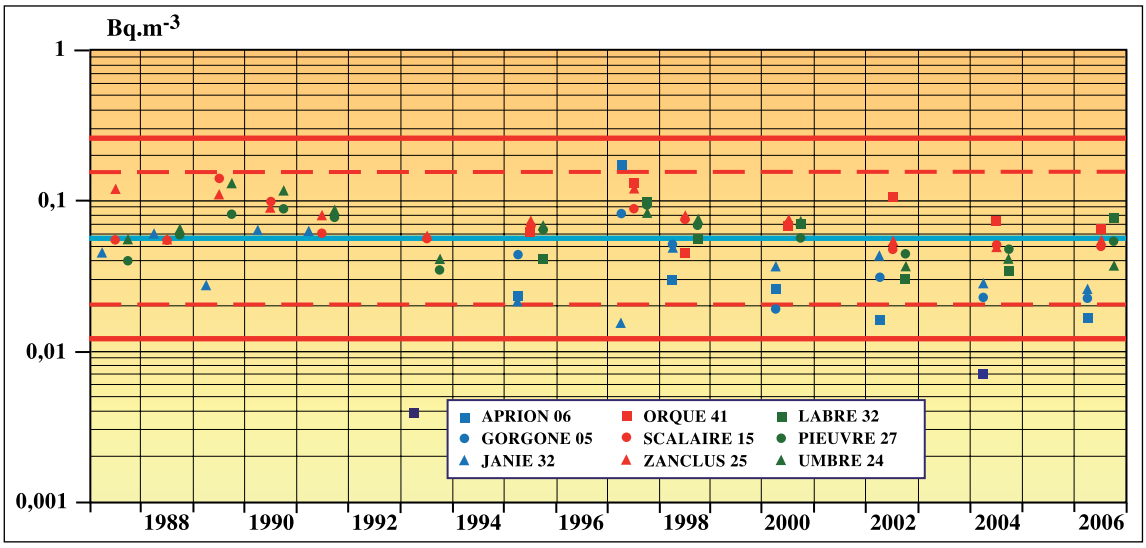


Figure B.4. : Activité du ^{238}Pu dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1987.

Plutonium 239 + Plutonium 240

La figure B.5. donne par année les valeurs mesurées depuis 1987 sur les 84 échantillons prélevés.

La moyenne géométrique est de 0,29. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,05 ; 1,70] traduit la dispersion des résultats. À l'exception de la valeur APRION 06 (0,038 Bq.m^{-3}), les autres valeurs 2006 qui varient entre 0,075 et 0,41 sont comprises dans cet intervalle.

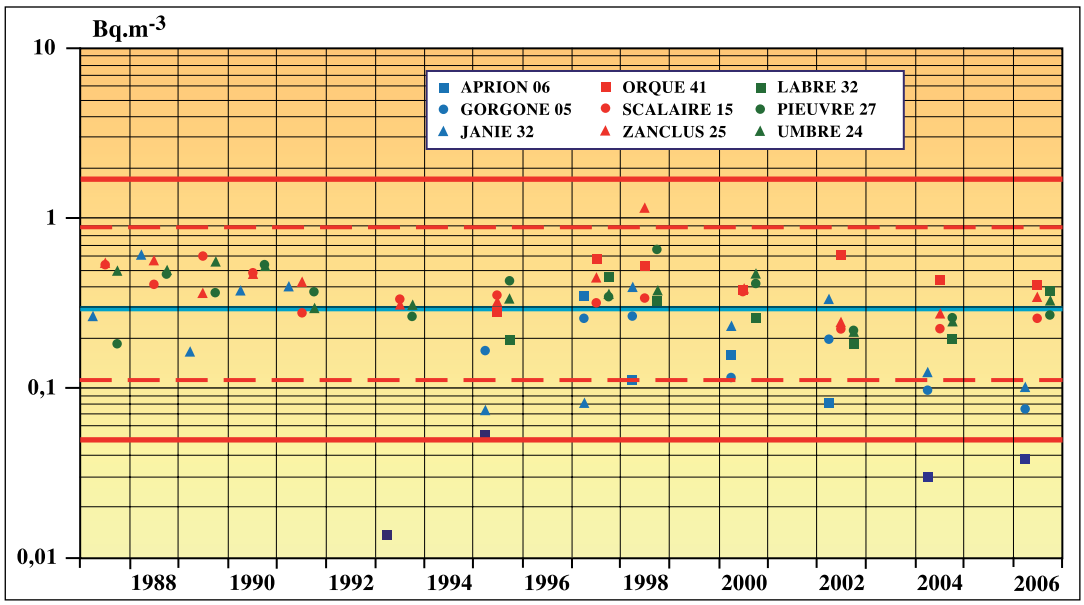


Figure B.5. : Activité du ^{239}Pu + ^{240}Pu dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1987.

Rapport Plutonium 238 / Plutonium 239 + Plutonium 240

La figure B.6. donne par année de prélèvement, les valeurs des 72 rapports calculés depuis 1987. La moyenne des valeurs est de 0,20 ± 0,01. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,04 ; 0,35] traduit la dispersion des résultats. Les valeurs calculées en 2006 qui varient entre 0,11 et 0,29 sont comprises dans cet intervalle.

Notons que du fait de valeur en ^{238}Pu inférieur à limite de détection, les rapports suivants n'ont pas été calculés :

- JANIE 32 pour les années 1987, 1988 1993 et 1997,
- SCALAIRE 15, PIEUVRE 27 et UMBRE 24 pour les années 1987 et 1988,
- ZANCLUS 25 pour l'année 1988,
- APRION 06 pour les années 2004 et 2006.

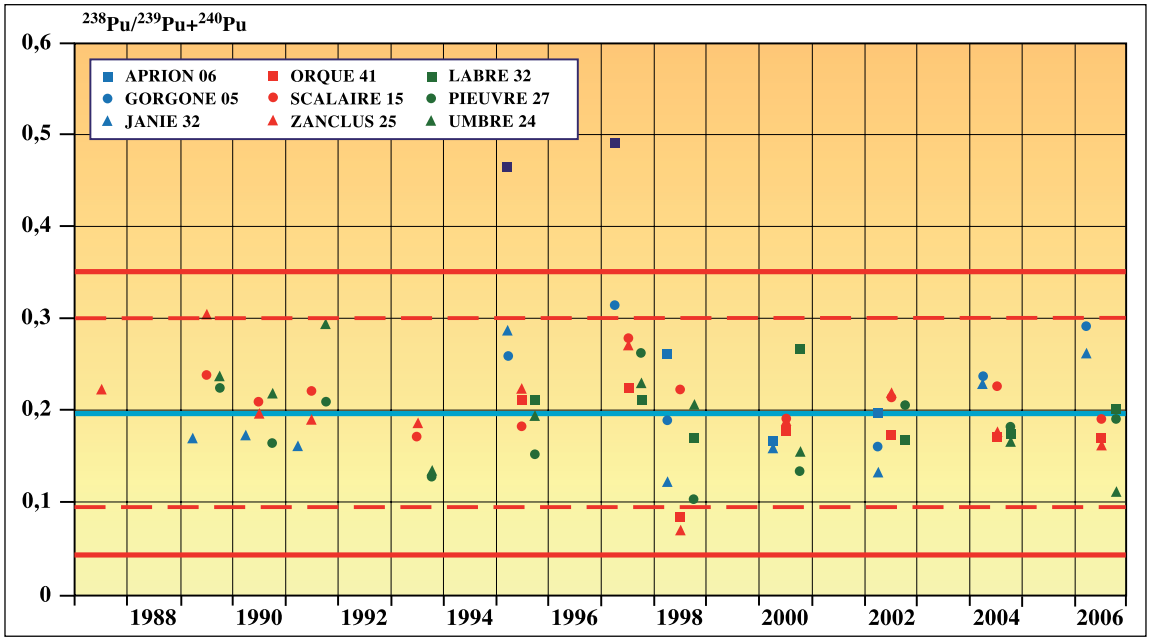


Figure B.6. : Rapport ^{238}Pu / ^{239}Pu + ^{240}Pu dans les eaux du lagon de Mururoa calculé depuis 1987.

B.2. - FANGATAUFA

Strontium 90

Les résultats obtenus en 2006 sont donnés dans le tableau B.4.

Zones	Lieux	Activité (Bq.m^{-3})
Pourtour du lagon	CERITHE 27	1,57 ± 0,27
	LIMNEE 35	0,92 ± 0,25
	MITRE 09	1,50 ± 0,30
	TROQUE 13	1,32 ± 0,23
Centre du lagon	MITRE 26	1,54 ± 0,27
Moyenne		*1,37 ± 0,26*

Tableau B.4. : Activité en ^{90}Sr des eaux du lagon de Fangataufa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en ^{90}Sr des eaux de surface du lagon de Fangataufa est de 1,37 Bq.m^{-3}, valeur voisine de celles des années précédentes.

Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles obtenues dans le lagon de Mururoa et dans les eaux océaniques polynésiennes.

La figure B.7. présente la radioactivité moyenne en ^{90}Sr mesurées depuis 1991 (pas de suivi systématique avant cette date).

Contrairement à Mururoa, cette courbe ne présente pas de décroissance.

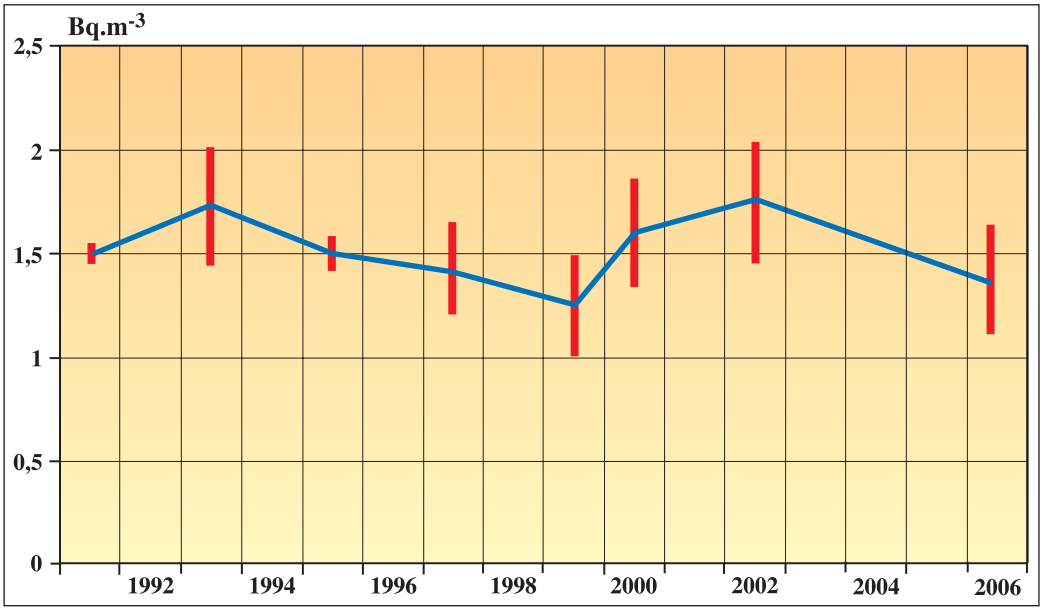


Figure B.7. : Activité moyenne en ^{90}Sr des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.

La figure B.8. présente, pour les 33 échantillons prélevés depuis 1991, les valeurs mesurées aux différents points. La moyenne des valeurs est de 1,54 Bq.m^{-3}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,65 ; 2,42] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2006 qui varient entre 0,92 et 1,57 sont comprises dans cet intervalle.

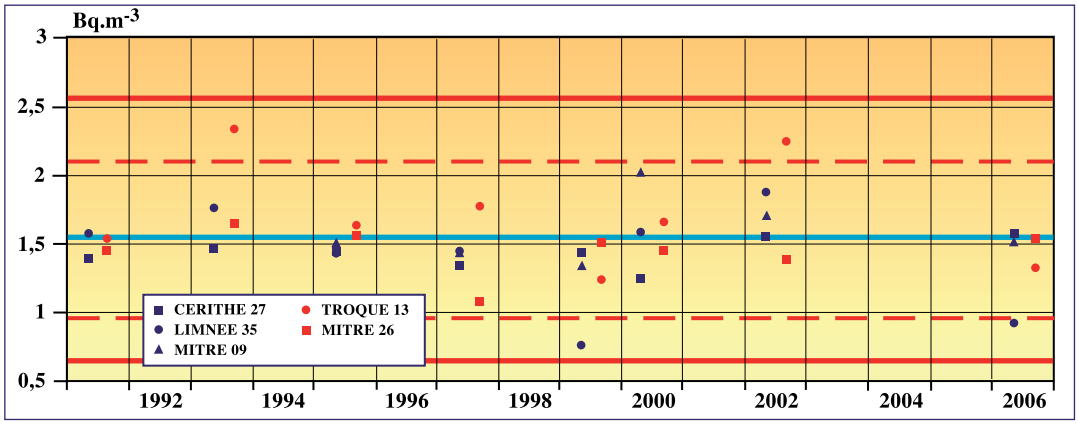


Figure B.8. : Activité en ^{90}Sr des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.

Rapport Césium 137 / Strontium 90

Dans les eaux océaniques, le rapport des activités $^{137}Cs/^{90}Sr$ est stable, de l'ordre de 1,45. Les mesures dans l'eau du lagon de Fangataufa (Tableau B.5.) donnent un rapport moyen de 1,45, du même ordre de grandeur que les années précédentes et identiques pour les deux lagons (Fig. B.9.).

Zones	Lieux	Rapport
Pourtour du lagon	CERITHE 27	1,03 ± 0,31
	LIMNEE 35	1,52 ± 0,55
	MITRE 09	1,09 ± 0,34
	TROQUE 13	2,42 ± 1,00
Centre du lagon	MITRE 26	1,17 ± 0,32
Moyenne		*1,45 ± 0,52*

Tableau B.5. : Rapport des activités $^{137}Cs/^{90}Sr$ des eaux du lagon de Fangataufa en 2006.

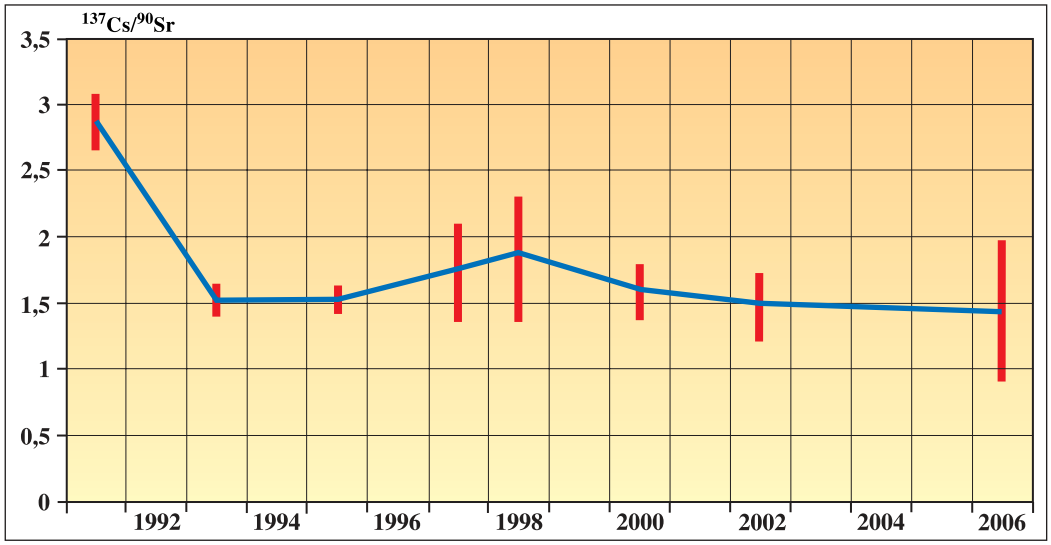


Figure B.9. : Rapport des activités $^{137}Cs/^{90}Sr$ des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.

La figure B.10. présente, pour les 33 rapports calculés depuis 1991, les valeurs des rapports Cs/Sr calculées aux différents points. La valeur moyenne est de 1,62. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,7 ; 2,5] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2006 qui varient entre 1,03 et 2,4 sont comprises dans cet intervalle.

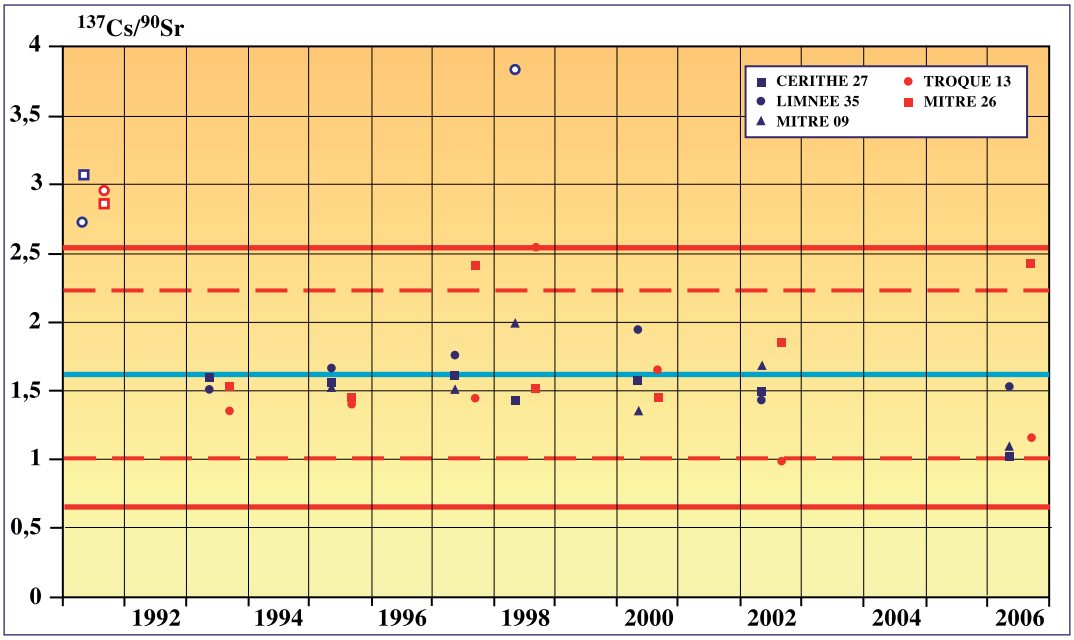


Figure B.10. : Rapport $^{137}Cs/^{90}Sr$ des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.

Plutonium

Les résultats obtenus en 2006 sont donnés dans le tableau B.6.

Zones	Lieux	^{238}Pu (Bq.m^{-3})	$^{239}Pu + ^{240}Pu$ (Bq.m^{-3})	Rapport ^{238}Pu / $^{239}Pu + ^{240}Pu$
Pourtour du lagon	CERITHE 27	0,11 ± 0,02	0,26 ± 0,03	0,41 ± 0,09
	LIMNEE 35	0,07 ± 0,02	0,19 ± 0,03	0,39 ± 0,10
	MITRE 09	0,36 ± 0,04	0,91 ± 0,08	0,39 ± 0,05
	TROQUE 13	0,27 ± 0,03	0,68 ± 0,06	0,39 ± 0,06
Centre du lagon	MITRE 26	0,14 ± 0,02	0,37 ± 0,04	0,39 ± 0,07
Moyenne		*0,16*	*0,41*	*0,39*

Tableau B.6. : Activité en ^{238}Pu et $^{239}Pu + ^{240}Pu$ des eaux du lagon de Fangataufa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en plutonium des eaux de surface du lagon de Fangataufa est de : 0,16 Bq.m^{-3} en ^{238}Pu,
0,41 Bq.m^{-3} en $^{239}Pu + ^{240}Pu$
et 0,39 pour le rapport ^{238}Pu / $^{239}Pu + ^{240}Pu$.

Les activités en plutonium sont sans changement par rapport aux années antérieures.

Plutonium 238

La figure B.11. présente, pour les 48 échantillons prélevés depuis 1987, les valeurs mesurées aux différents points. La moyenne des valeurs est de 0,197 $Bq.m^{-3}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,021 ; 1,85] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2006 qui varient entre 0,11 et 0,36 sont comprises dans cet intervalle.

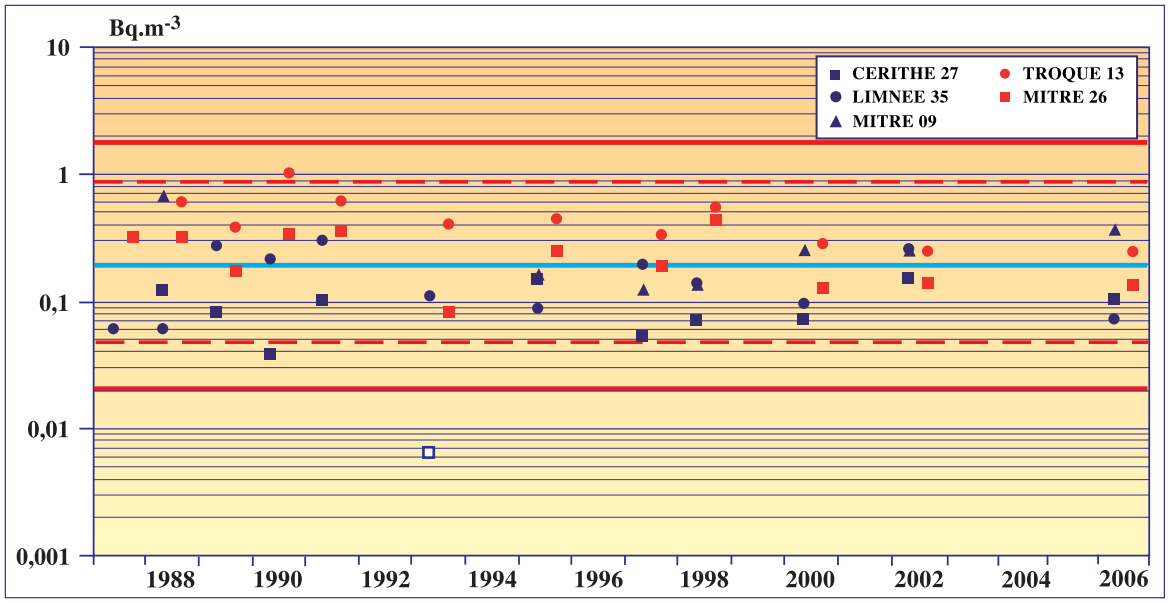


Figure B.11. : Activité du ^{238}Pu des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1987.

Plutonium 239 + plutonium 240

La figure B.12. présente, pour les 48 échantillons prélevés depuis 1987, les valeurs mesurées aux différents points. La moyenne des valeurs est de 0,51 $Bq.m^{-3}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,05 ; 4,79] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2006 qui varient entre 0,19 et 0,91 sont comprises dans cet intervalle.

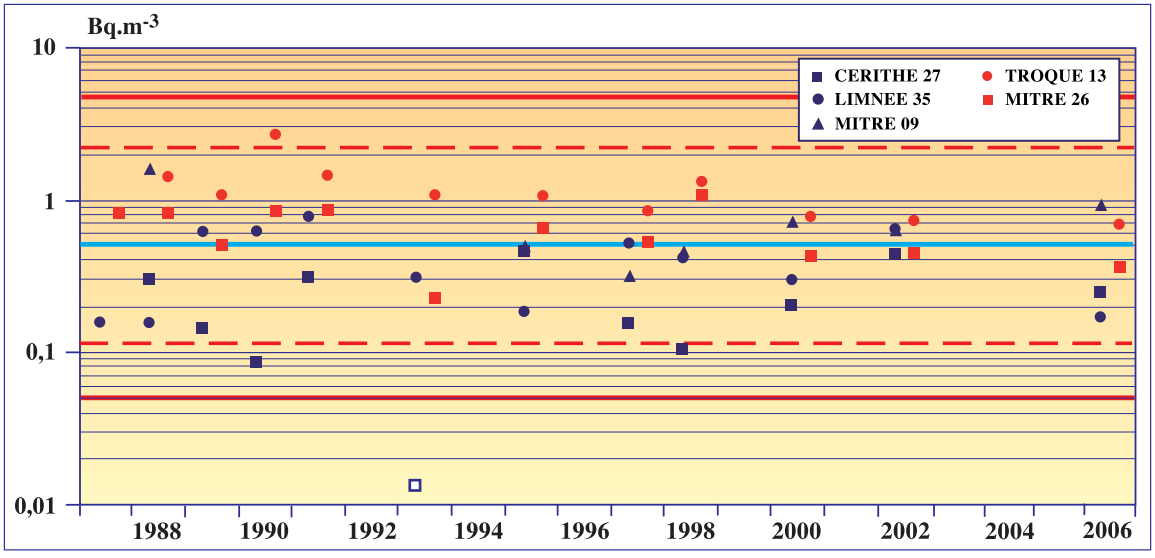


Figure B.12. : Activité du ^{239}Pu + ^{240}Pu des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1987.

Rapport plutonium 238/plutonium 239 + plutonium 240

La figure B.13. présente, pour les 47 rapports calculés depuis 1990, les valeurs pour les différents points. La moyenne des valeurs est de 0,38 ± 0,12 Bq.m^{-3}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,26 ; 0,51] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2006 qui varient entre 0,39 et 0,41 sont comprises dans cet intervalle.

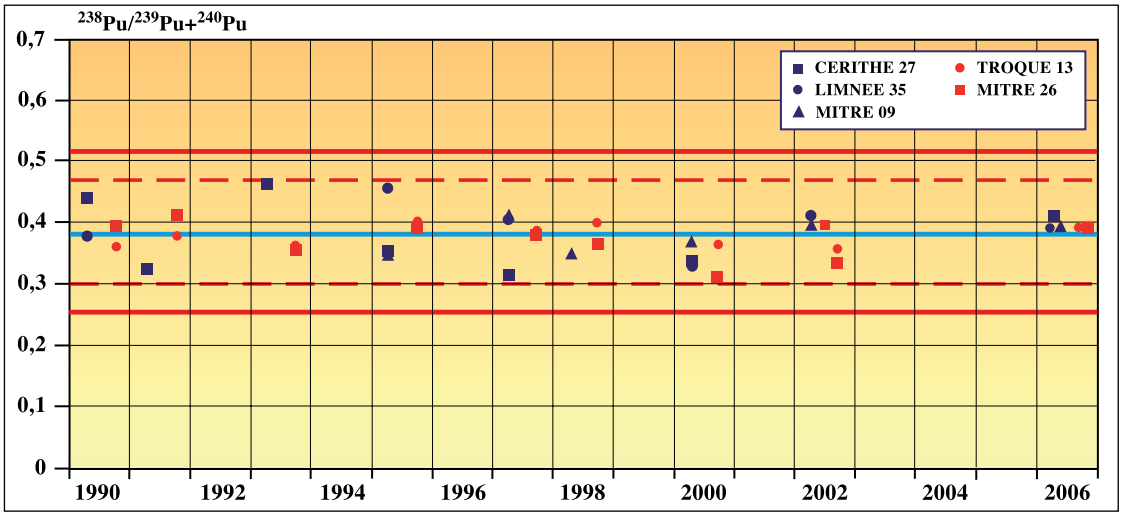


Figure B.13. : Rapport ^{238}Pu / ^{239}Pu + ^{240}Pu des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1990.

Annexe C

LA SURVEILLANCE DES SEDIMENTS

Annexe C
LA SURVEILLANCE DES SEDIMENTS

Elle est réalisée à partir de l'analyse des prélèvements de sédiments dans les lagons de Mururoa et de Fangataufa.

La radioactivité dans les sédiments ne présente pas d'évolution notable depuis des années. Ainsi la fréquence des analyses a été modifiée. L'édition 2003 du guide de surveillance radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa précise que :

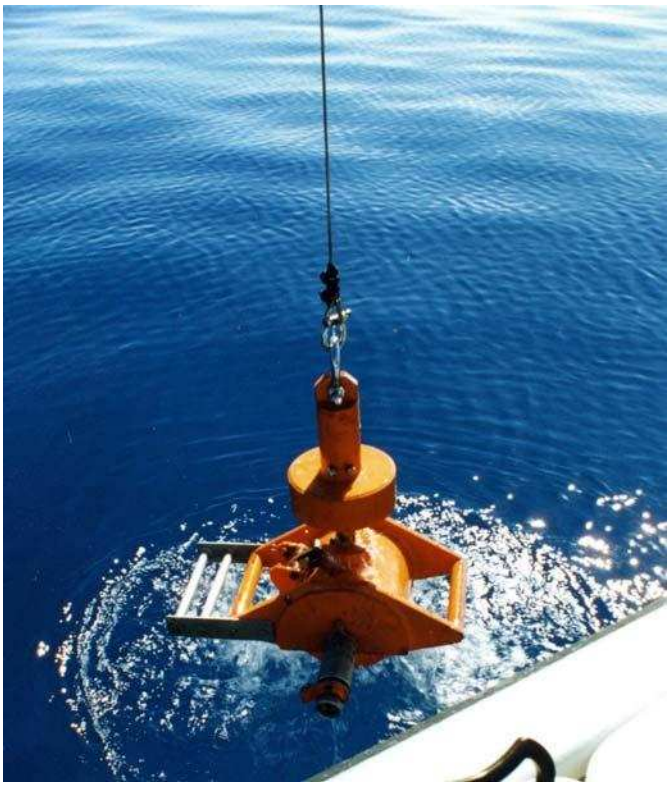
- les prélèvements sont effectués tous les ans dans chacun des deux atolls,
- les analyses par spectrométrie gamma sont réalisées les années paires sur les prélèvements de Mururoa et les années impaires sur ceux de Fangataufa,
- le dosage du plutonium n'est réalisé qu'une année sur quatre,
- la mesure du ^{90}Sr n'est effectuée que si la valeur en ^{137}Cs est supérieure à 1 $Bq.kg^{-1}$,
- les échantillons non-traités sont conservés en archive pour analyse éventuelle.

En 2003 et 2004, les prélèvements n'avaient pu être réalisés à Fangataufa en raison d'une avarie d'un des moteurs du REVI. Cette année, l'ensemble des échantillons des sédiments des deux atolls sera réalisé y compris la mesure du plutonium.

C.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Les prélèvements de sédiments sont effectués dans la couche superficielle des fonds de lagon, à Mururoa et Fangataufa. Ils sont réalisés aux mêmes emplacements et, en général, aux mêmes dates que ceux des eaux de lagon.

Les prélèvements sont obtenus à l'aide d'une benne Shipeck manipulée grâce à un portique spécialement aménagé sur la vedette de servitude du REVI.



Prélèvement de sédiments à l'aide de la benne Shipeck.

Annuellement, les prélèvements sont réalisés :

- À Mururoa, aux 9 emplacements prévus à l'intérieur du lagon (Figure C.1.) :
  - APRION 06, GORGONE 05, JANIE 32, ORQUE 41, SCALAIRE 15 et ZANCLUS 25 pour la surveillance du pourtour du lagon,
  - LABRE 32, PIEUVRE 27 et UMBRE 24 pour la surveillance du centre du lagon.

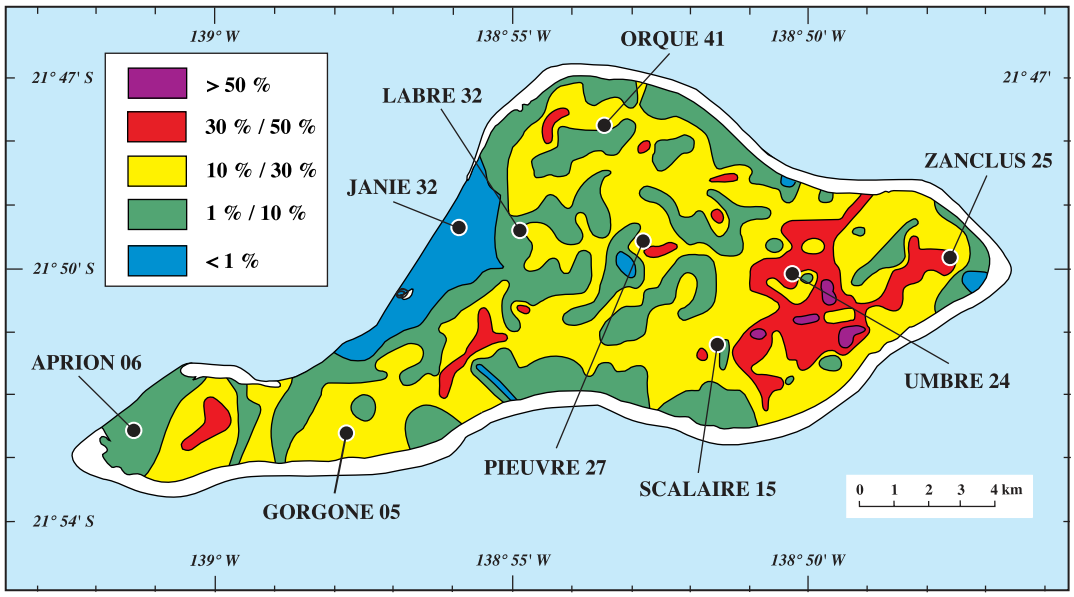


Figure C.1. : Emplacements des points de prélèvement dans le lagon de Mururoa et pourcentage de la fraction inférieure à 40 microns des sédiments de surface.

- À Fangataufa, aux 5 emplacements à l'intérieur du lagon (Figure C.2.) :
  - CERITHE 27, LIMNEE 35, MITRE 9 et TROQUE 13 pour la surveillance en bordure du lagon,
  - MITRE 26 pour la surveillance du centre du lagon.

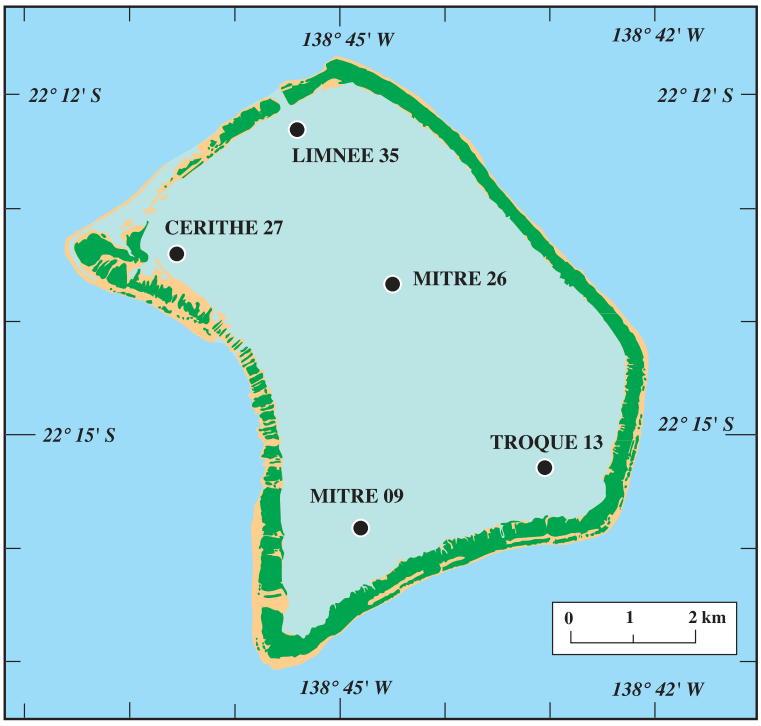


Figure C.2. : Emplacements des prélèvements de sédiments de lagon sur l'atoll de Fangataufa.

Selon les années, sur chaque échantillon de sédiments sont réalisés :

- une spectrométrie γ sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs et autres émetteurs γ),
- une recherche et une mesure du plutonium (^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu) par spectrométrie α sur chambre à grille ou sur chambre à détecteur semi-conducteur Si,
- un dosage du ^{90}Sr par comptage β de son descendant radioactif ^{90}Y sur compteur proportionnel bas bruit si le ^{137}Cs est supérieur à 1 $Bq.kg^{-1}$.

C.2. - LES RESULTATS

Les résultats des mesures d'activité des principaux radionucléides naturels (^{40}K, ^{234}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{235}U, ^{228}Th et ^{228}Ac) et artificiels (^{60}Co, ^{90}Sr, ^{125}Sb, ^{137}Cs, ^{155}Eu et ^{241}Am) obtenus en 2004 sont donnés et comparés avec les mesures des années précédentes.

Du fait de leur nature, les sédiments superficiels des fonds de lagon présentent une radioactivité très hétérogène et deux prélèvements contigus peuvent présenter des différences très importantes.

La position géographique (distance aux anciens points zéros des expérimentations aériennes) a une grande influence sur la quantité de radionucléides artificiels contenus dans le sédiment.

Les caractéristiques des prélèvements effectués sont indiquées dans le tableau C.1. et C.2.

Lieux	Coordonnées géographiques	Profondeur	Date de prélèvement
APRION 05	21° 52' 45,108" S 139° 02' 15,727" W	5 m	14.04.06
GORGONE 05	21° 52' 41,938" S 138° 57' 54,533" W	15 m	13.04.06
JANIE 32	21° 49' 16,830 S 138° 55' 56,727" W	25 m	12.04.06
ORQUE 41	21° 47' 45,904 S 138° 53' 20,238" W	35 m	15.04.06
SCALAIRE 15	21° 51' 12,531 S 138° 51' 29,322" W	41 m	11.04.06
ZANCLUS 25	21° 49' 51,357" S 138° 47' 30,223" W	25 m	15.04.06
LABRE 32	21° 49' 24,619 S 138° 54' 53,631" W	43 m	11.04.06
PIEUVRE 27	21° 49' 36,033" S 138° 52' 46,347" W	27 m	12.04.06
UMBRE 24	21° 50' 09,624" S 138° 50' 09,445" W	21 m	15.04.06

Tableau C.1. : Caractéristiques des prélèvements de sédiments de lagon de Mururoa.

Lieux	Coordonnées géographiques	Profondeur	Date de prélèvement
CERITHE 27	22° 13' 24,631" S 138° 46' 33,358" W	9 m	26.03.06
LIMNEE 35	22° 12' 18,675" S 138° 45' 24,582" W	7 m	24.03.06
MITRE 09	22° 15' 49,431" S 138° 44' 46,303" W	12 m	24.03.06
TROQUE 13	22° 15' 15,470" S 138° 43' 02,088" W	11 m	26.03.06
MITRE 26	22° 13' 39,196" S 138° 44' 30,931" W	25 m	24.03.06

Tableau C.2. : Caractéristiques des prélèvements de sédiments de lagon de Fangataufa.

C.2.1. - L'atoll de MURUROA

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le tableau C.3. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Zones	Lieux	^{40}K (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	APRION 05	7,47 ± 0,77
	GORGONE 05	9,50 ± 1,40
	JANIE 32	11,60 ± 1,10
	ORQUE 41	11,00 ± 1,00
	SCALAIRE 15	8,85 ± 0,93
	ZANCLUS 25	9,70 ± 1,60
Centre du lagon	LABRE 32	8,00 ± 1,00
	PIEUVRE 27	6,58 ± 0,72
	UMBRE 24	8,05 ± 0,78
Moyenne de l'année		*9,0 ± 1,1*

Tableau C.3. : Activité du ^{40}K dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

La moyenne calculée est de 9,2 ± 0,4 Bq.kg^{-1} sur les 80 échantillons prélevés depuis 1989. L'intervalle de probabilité 99,7 % [3,5 ; 14,9] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats (Fig. C.3.).

Les valeurs en 2006 qui varient entre 6,58 et 11,6 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

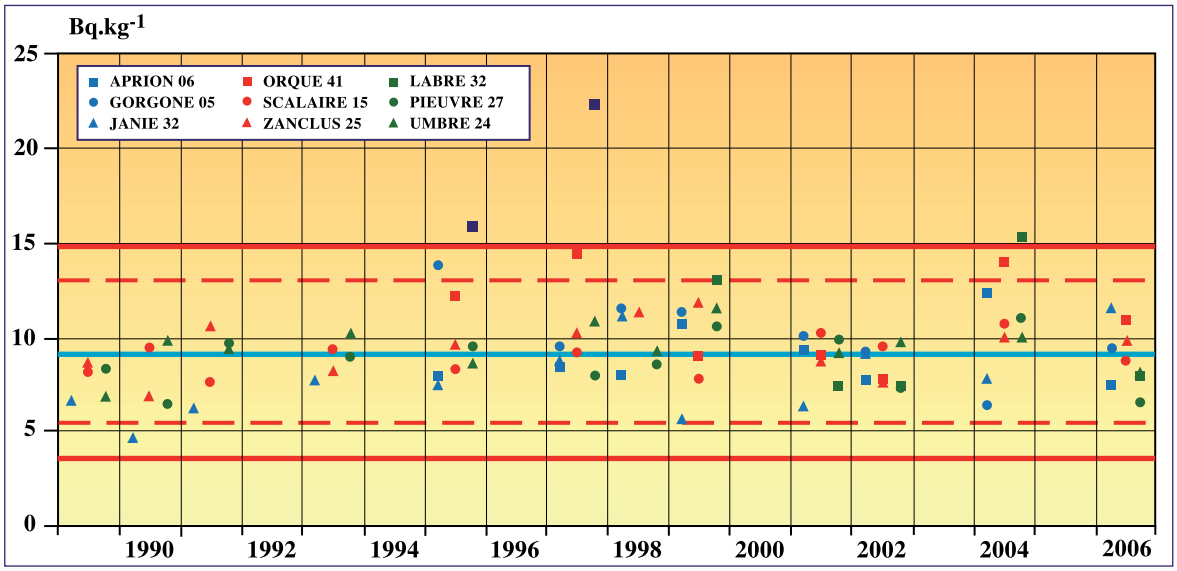


Figure C.3. : Evolution de l'activité du ^{40}K dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

Famille naturelle de l'Uranium 238

Le tableau C.4. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Zones	Lieux	^{234}Th (Bq.kg^{-1} sec)	^{226}Ra* (Bq.kg^{-1} sec)	^{210}Pb (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	APRION 05	29,5 ± 1,5	1,36 ± 0,15	16,1 ± 2,0
	GORGONE 05	30,1 ± 1,6	3,31 ± 0,24	52,9 ± 7,7
	JANIE 32	35,8 ± 1,9	10,20 ± 0,50	56,6 ± 5,0
	ORQUE 41	25,6 ± 1,2	2,80 ± 0,16	20,9 ± 2,3
	SCALAIRE 15	27,8 ± 1,5	1,69 ± 0,11	20,3 ± 2,3
	ZANCLUS 25	29,6 ± 1,5	1,69 ± 0,10	23,6 ± 5,2
Centre du lagon	LABRE 32	29,9 ± 1,6	39,90 ± 1,50	61,5 ± 5,4
	PIEUVRE 27	28,8 ± 1,2	1,77 ± 0,13	41,1 ± 3,4
	UMBRE 24	26,8 ± 2,4	2,25 ± 0,16	20,3 ± 2,2
Moyenne de l'année		*29,3 ± 1,91*	*3,4***	*30,8***

* : calculée à partir des mesures sur les descendants du ^{226}Ra (^{214}Pb, ^{214}Bi).

** : moyenne géométrique

Tableau C.4. : Activité des ^{234}Th, ^{226}Ra et ^{210}Pb dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

Les figures C.4., C.5. et C.6. présentent l'évolution de l'activité depuis 1989 dans les sédiments superficiels de trois radionucléides (^{234}Th, ^{226}Ra et ^{210}Pb), émetteurs γ de la famille naturelle de l'uranium 238.

Pour le ^{234}Th, la moyenne calculée est de 27,5 ± 1,0 Bq.kg^{-1} sur les 80 échantillons prélevés depuis 1989. L'intervalle de probabilité 99,7 % [15 ; 40] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2006 qui varient entre 25,6 et 35,8 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

L'activité du ^{226}Ra est toujours hétérogène. La moyenne géométrique est de 3,2 Bq.kg^{-1} calculée sur les 80 échantillons prélevés depuis 1989. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,2 ; 53] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2006 qui varient entre 1,4 et 39,9 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

L'activité des sédiments en ^{210}Pb est aussi très hétérogène. La moyenne géométrique est de 24,8 Bq.kg^{-1} calculée sur les 80 échantillons prélevés depuis 1989. L'intervalle de probabilité 99,7 % [3,7 ; 164,4] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2006 qui varient entre 16,1 et 61,5 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

Un important fractionnement de la chaîne naturelle de l'uranium 238 est généralement observé dans les sédiments. Les résultats de mesure permettent de mettre en évidence une discontinuité de la chaîne, au niveau du ^{226}Ra ; les activités du ^{226}Ra sont, en général, près de 10 fois plus faibles que celles du ^{234}Th. Les écarts observés dans la filiation s'expliquent par des solubilités différentes des éléments constituant la famille naturelle. Dans l'eau de mer, l'uranium (^{238}U, ^{234}U) et le radium (^{226}Ra) sont solubles, alors que leurs descendants thorium (^{234}Th, ^{230}Th) ou plomb (^{210}Pb), très peu solubles et très réactifs, sont très rapidement entraînés vers le fond du lagon par les particules microscopiques d'origine biologique.

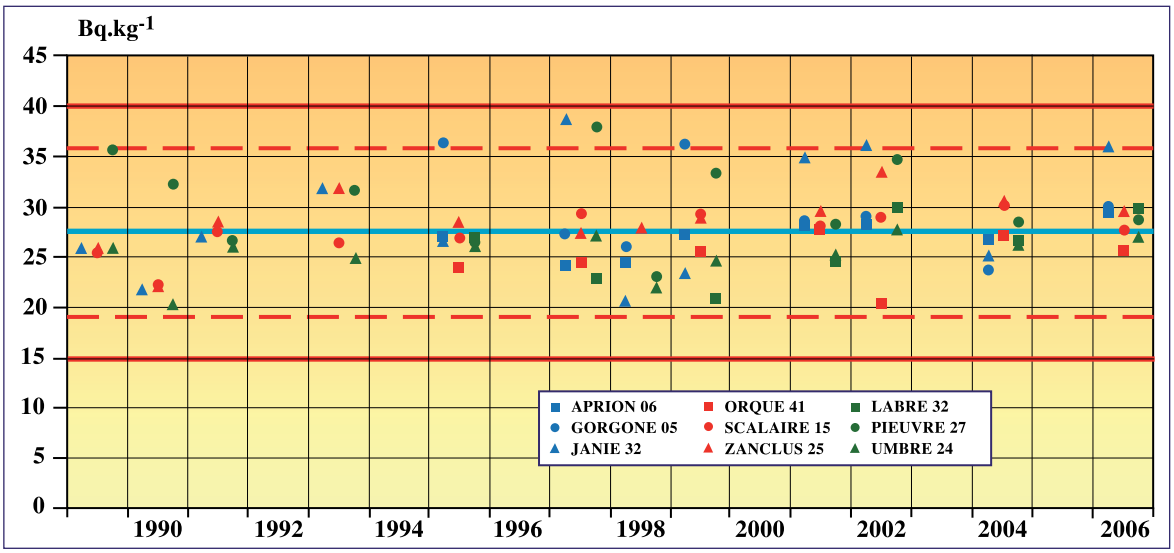


Figure C.4. : Evolution de l'activité du ^{234}Th dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

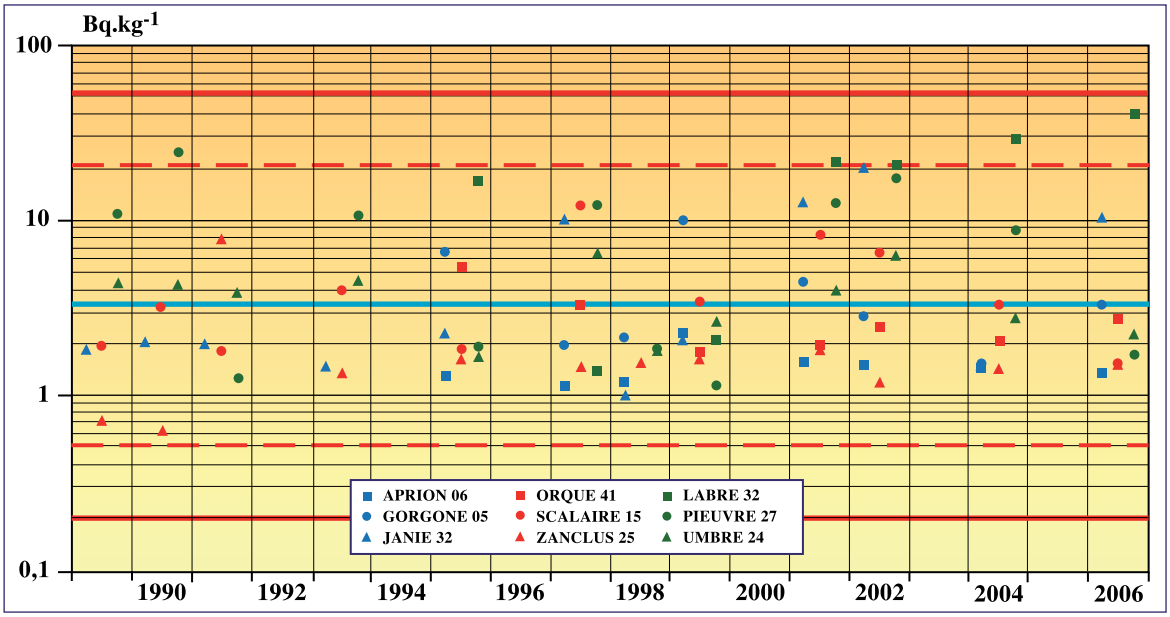


Figure C.5. : Evolution de l'activité du ^{226}Ra dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

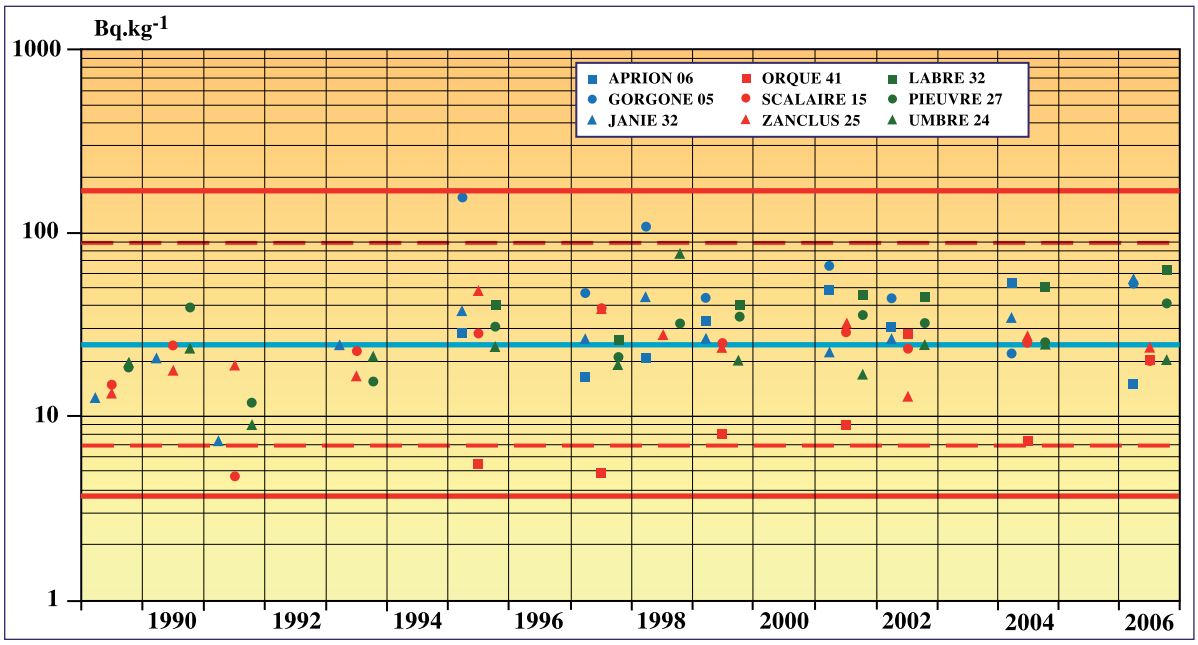


Figure C.6. : Evolution de l'activité du ^{210}Pb dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

Uranium 235

Le tableau C.5. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Zones	Lieux	^{235}U (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	APRION 05	1,49 ± 0,11
	GORGONE 05	1,47 ± 0,10
	JANIE 32	2,24 ± 0,26
	ORQUE 41	1,20 ± 0,19
	SCALAIRE 15	1,42 ± 0,13
	ZANCLUS 25	1,33 ± 0,16
Centre du lagon	LABRE 32	2,30 ± 0,33
	PIEUVRE 27	1,49 ± 0,10
	UMBRE 24	1,21 ± 0,20
Moyenne de l'année		*1,57 ± 0,27*

Tableau C.5. : Activité de l'^{235}U dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

La figure C.7. présente l'évolution depuis 1989 de l'activité des sédiments superficiels en ^{235}U.

Pour l'uranium 235, la moyenne est de 1,4 ± 0,06 Bq.kg^{-1} calculée sur les 80 prélèvements effectués depuis 1989. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,6 ; 2,23] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. À l'exception des valeurs en LABRE 32 (2,30) et JANIE 32 (2,24) qui sont légèrement hors norme, les autres valeurs de 2006, qui varient entre 1,20 et 1,49 Bq.kg^{-1}, sont comprises dans cet intervalle.

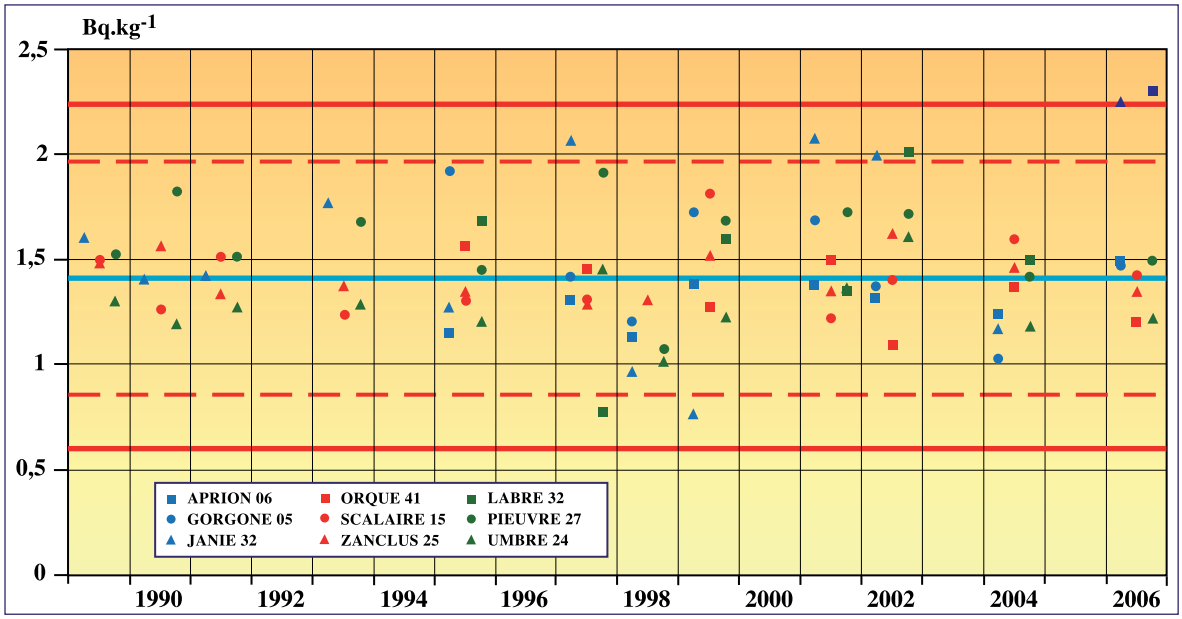


Figure C.7. : Evolution de l'activité de l'^{235}U dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

Les activités mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le ^{234}Th (Tableau C.6.). On peut en conclure qu'il y a un équilibre radioactif entre ^{238}U et son descendant ^{234}Th dans les sédiments, puisque le rapport des activités ^{238}U/^{235}U est de l'ordre de 20 pour l'uranium naturel. La figure C.8. présente les rapports des activités ^{234}Th/^{235}U obtenus depuis 1989.

Zones	Lieux	Rapport ^{234}Th/^{235}U
Pourtour du lagon	APRION 05	19,8 ± 1,8
	GORGONE 05	20,5 ± 1,8
	JANIE 32	16,0 ± 2,0
	ORQUE 41	21,3 ± 3,5
	SCALAIRE 15	19,6 ± 2,1
	ZANCLUS 25	22,3 ± 2,9
Centre du lagon	LABRE 32	13,0 ± 2,0
	PIEUVRE 27	19,3 ± 1,5
	UMBRE 24	22,1 ± 3,8
Moyenne		*19,3 ± 2,0*

Tableau C.6. : Rapport des activités ^{234}Th/^{235}U dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

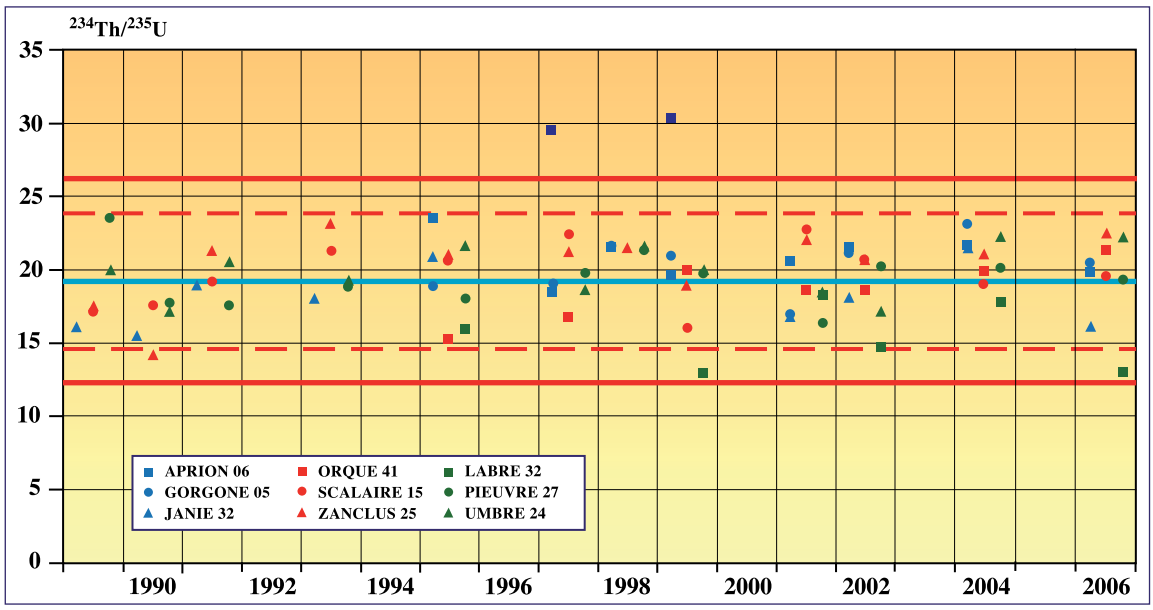


Figure C.8. : Rapport des activités $^{234}Th/^{235}U$ des sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

Sur l'ensemble des 80 valeurs du rapport $^{234}Th/^{235}U$ calculées depuis 1989 (sans les valeurs hors normes), la moyenne est de 19,4 ± 0,5. L'intervalle de probabilité 99,7 % [12,5 ; 26,3] $Bq.kg^{-1}$ traduit la dispersion des résultats. Les valeurs 2006 qui varient entre 13 et 22,3 $Bq.kg^{-1}$ sont comprises dans cet intervalle.

Famille naturelle du thorium 232

La radioactivité des sédiments de lagon, ayant pour origine la famille naturelle du ^{232}Th n'a pas pu être détectée. Comme les années précédentes, aucun résultat significatif n'a été obtenu cette année pour la mesure de la radioactivité en ^{228}Ac, radionucléide émetteur γ faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th (Tableau C.7.).

Zones	Lieux	^{228}Ac ($Bq.kg^{-1}$ sec)
Pourtour du lagon	APRION 06	≤ 0,29
	GORGONE 05	≤ 0,29
	JANIE 32	≤ 0,44
	ORQUE 41	≤ 0,67
	SCALAIRE 15	≤ 0,30
	ZANCLUS 25	≤ 0,29
Centre du lagon	LABRE 32	≤ 0,34
	PIEUVRE 27	≤ 0,29
	UMBRE 24	≤ 0,30

Tableau C.7. : Activité de l'^{228}Ac dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

Radioactivité d'origine artificielle

La radioactivité d'origine artificielle des sédiments des fonds des lagons n'est pas répartie de façon uniforme. Elle est, entre autre, fonction de la distance du point de prélèvement aux anciens points zéro des essais aériens. On ne peut donc pas considérer l'ensemble des résultats comme une population statistique et y appliquer la démarche habituelle.

Cobalt 60

Le tableau C.8. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Zones	Lieux	^{60}Co (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	APRION 05	≤ 0,099
	GORGONE 05	≤ 0,154
	JANIE 32	≤ 0,140
	ORQUE 41	0,136 ± 0,027
	SCALAIRE 15	≤ 0,110
	ZANCLUS 25	≤ 0,100
Centre du lagon	LABRE 32	≤ 0,200
	PIEUVRE 27	≤ 0,100
	UMBRE 24	≤ 0,097

Tableau C.8. : Activité du ^{60}Co dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

La figure C.9. présente l'évolution de l'activité en ^{60}Co des sédiments superficiels depuis 1987.

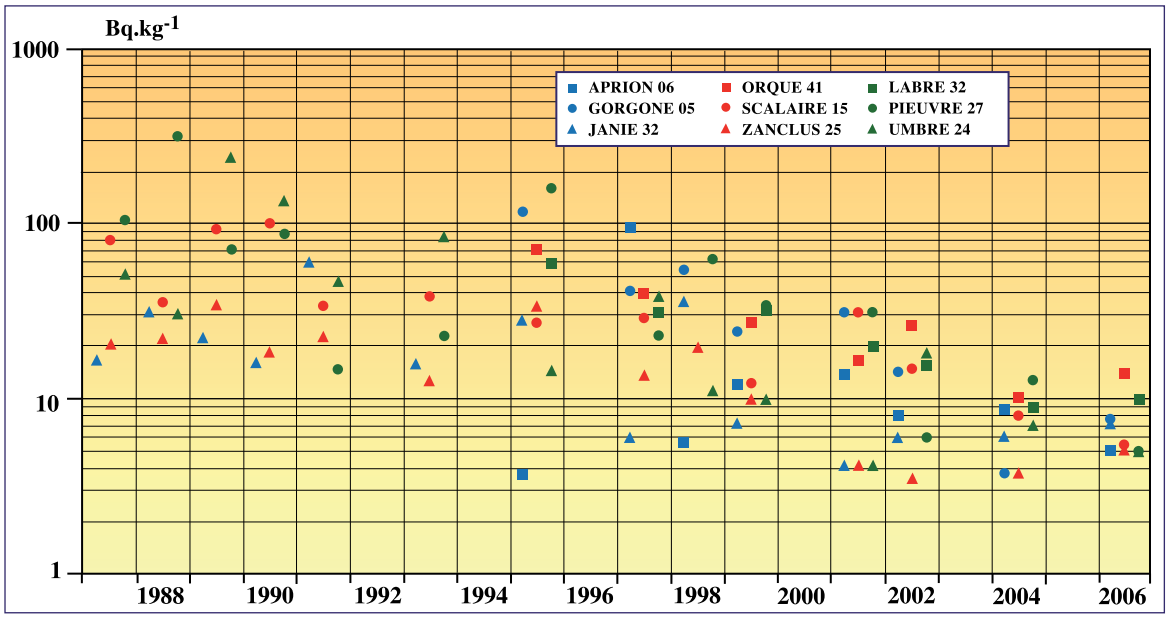


Figure C.9. : Evolution de l'activité du ^{60}Co dans les sédiments de lagon à Mururoa depuis 1987.

Globalement, on observe une diminution régulière de l'activité du ^{60}Co au cours du temps (Fig. C.10.) avec une période apparente de 5,39 ± 1,6 ans. Cette période est du même ordre de grandeur que la période radioactive du ^{60}Co (5,27 ans).

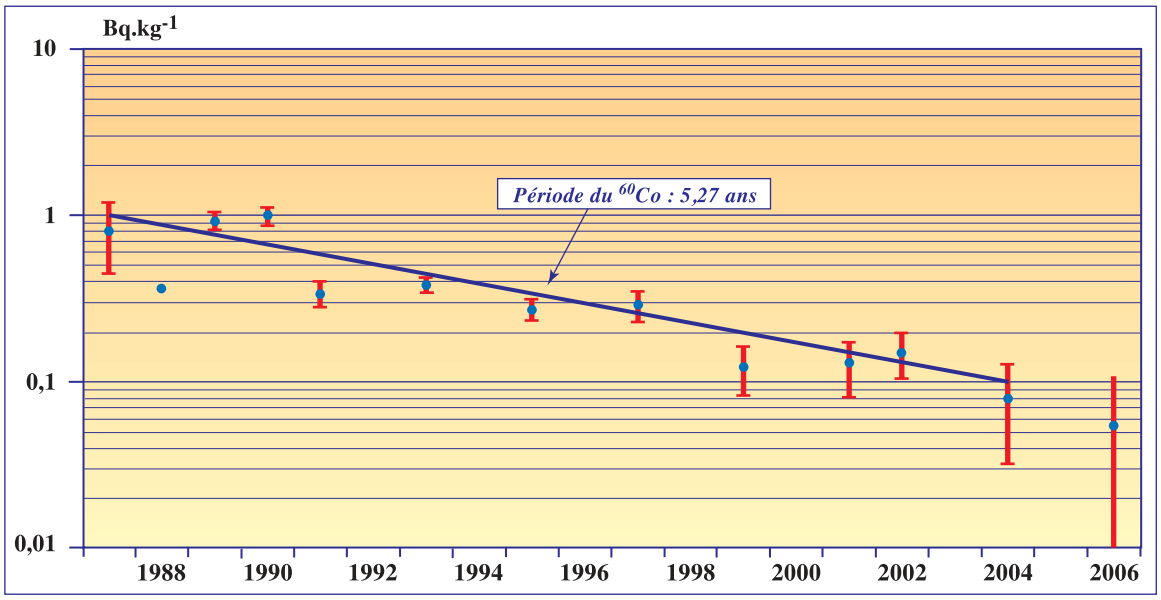


Figure C.10. : Evolution de l'activité du ^{60}Co dans les sédiments de lagon de SCALAIRE 15 à Mururoa depuis 1987.

Antimoine 125

Le tableau C.9. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Zones	Lieux	^{125}Sb (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	APRION 05	≤ 0,28
	GORGONE 05	≤ 0,32
	JANIE 32	≤ 0,43
	ORQUE 41	≤ 0,30
	SCALAIRE 15	≤ 0,33
	ZANCLUS 25	≤ 0,34
Centre du lagon	LABRE 32	≤ 0,66
	PIEUVRE 27	≤ 0,28
	UMBRE 24	≤ 0,28

Tableau C.9. : Activité du ^{125}Sb dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

Comme les années précédentes, la mesure de l'activité du ^{125}Sb n'a pas donné de résultats significatifs (résultats inférieurs aux limites de détection).

Césium 137

Le tableau C.10. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Zones	Lieux	^{137}Cs (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	APRION 05	≤ 0,09
	GORGONE 05	≤ 0,09
	JANIE 32	≤ 0,14
	ORQUE 41	≤ 0,10
	SCALAIRE 15	≤ 0,11
	ZANCLUS 25	≤ 0,09
Centre du lagon	LABRE 32	≤ 0,21
	PIEUVRE 27	≤ 0,09
	UMBRE 24	≤ 0,09

Tableau C.10. : Activité du ^{137}Cs dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

Les valeurs mesurées sont inférieures ou très proches des limites de détection.

Strontium 90

Les mesures en ^{137}Cs étant inférieure à 1 Bq.kg^{-1}, aucune analyse ^{90}Sr n'a été effectuée sur les prélèvements de sédiments.

Europium 155

Le tableau C.11. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Zones	Lieux	^{155}Eu (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	APRION 05	≤ 0,21
	GORGONE 05	0,37 ± 0,19
	JANIE 32	≤ 0,37
	ORQUE 41	1,41 ± 0,16
	SCALAIRE 15	0,27 ± 0,11
	ZANCLUS 25	≤ 0,26
Centre du lagon	LABRE 32	≤ 0,56
	PIEUVRE 27	0,17 ± 0,12
	UMBRE 24	0,19 ± 0,11
Moyenne		*0,340*

Tableau C.11. : Activité de l'^{155}Eu dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

La figure C.11. présente l'activité des sédiments superficiels de l'^{155}Eu depuis 1987. On observe globalement une diminution de l'activité de l'^{155}Eu au cours du temps. Cette diminution est essentiellement due à la décroissance radioactive de ce radionucléide (4,753 ans de période).

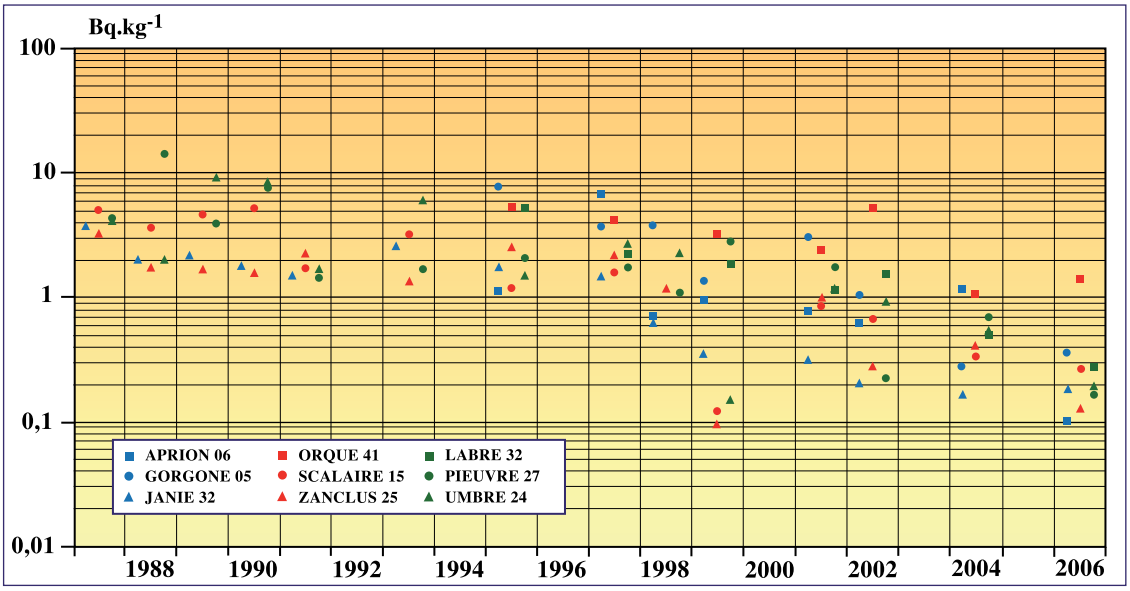


Figure C.11. : Activité de l'^{155}Eu dans les sédiments de lagon à Mururoa depuis 1987.

La figure C.12. met en évidence cette diminution au point JANIE 32 avec une période apparente de 4,2 ± 1,1 ans du même ordre de grandeur que la période radioactive de ce radionucléide.

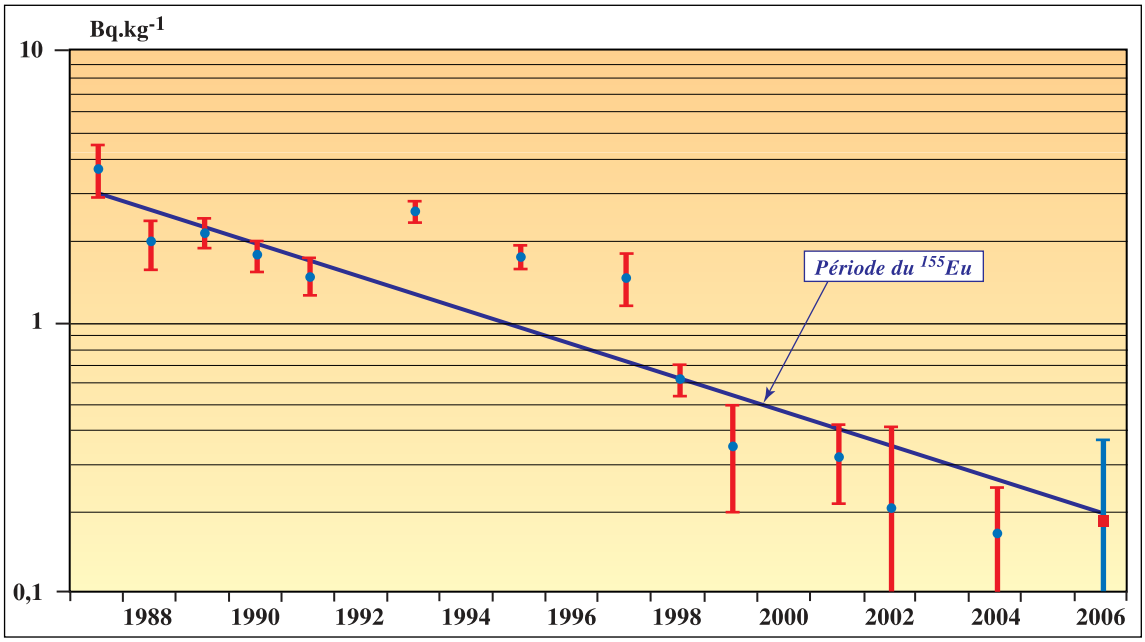


Figure C.12. : Evolution de l'activité de l'^{155}Eu dans les sédiments prélevés au point JANIE 32 depuis 1987.

Américium 241

Le tableau C.12. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Zones	Lieux	^{241}Am (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	APRION 05	1,05 ± 0,13
	GORGONE 05	2,40 ± 0,14
	JANIE 32	2,32 ± 0,23
	ORQUE 41	12,40 ± 0,30
	SCALAIRE 15	1,08 ± 0,14
	ZANCLUS 25	1,15 ± 0,10
Centre du lagon	LABRE 32	3,15 ± 0,16
	PIEUVRE 27	1,03 ± 0,06
	UMBRE 24	1,12 ± 0,14
Moyenne		*1,90*

Tableau C.12. : Activité de l'^{241}Am dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

Les valeurs en 2006 sont du même ordre de grandeur que celles obtenues les années précédentes.

La figure C.13. présente l'évolution de l'activité des sédiments superficiels de l'^{241}Am depuis 1988.

En ORQUE 41, les valeurs se situent dans la fourchette supérieure. En JANIE 32 (Passe) et ZANCLUS 25 (Fond du lagon), les valeurs sont généralement plus faibles.

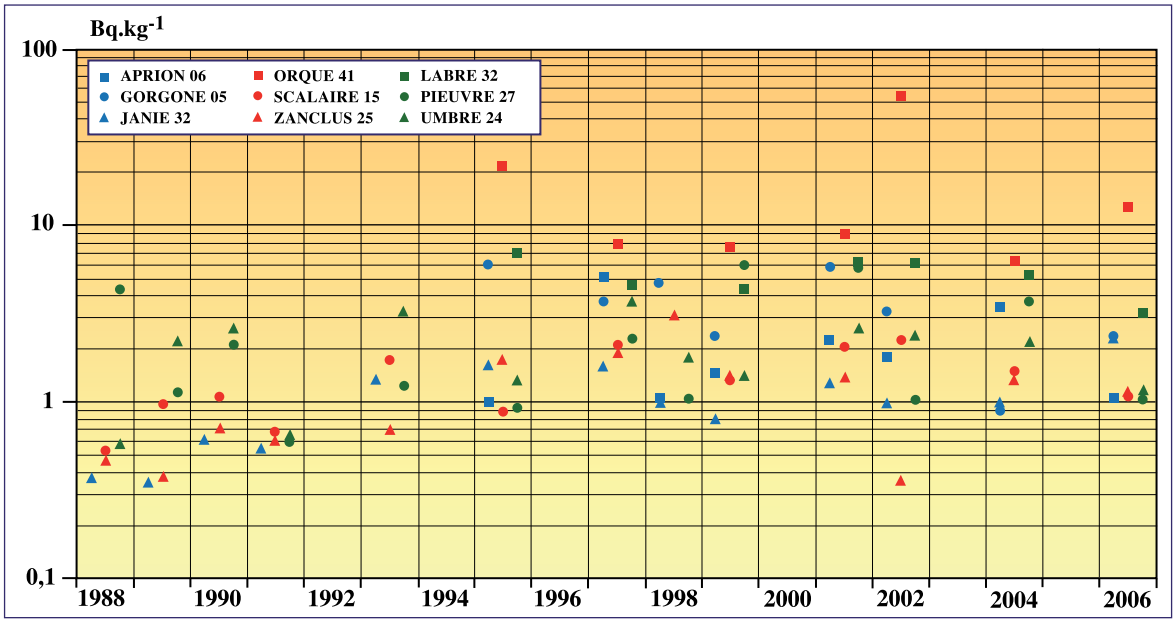


Figure C.13. : Evolution de l'activité de l'^{241}Am dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1988.

Plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240

Les prélèvements ont lieu au même emplacement que ceux de cette année.
Le tableau C.13. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Zones	Lieux	^{238}Pu (Bq.kg^{-1} sec)	^{239}Pu + ^{240}Pu (Bq.kg^{-1} sec)	Rapport ^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu
Pourtour du lagon	APRION 05	1,65 ± 0,17	8,62 ± 0,7	0,191 ± 0,025
	GORGONE 05	3,60 ± 0,35	31,30 ± 2,7	0,115 ± 0,015
	JANIE 32	2,79 ± 0,28	20,80 ± 1,7	0,134 ± 0,017
	ORQUE 41	40,50 ± 4,4	231,00 ± 25	0,175 ± 0,027
	SCALAIRE 15	2,37 ± 0,22	11,00 ± 0,9	0,215 ± 0,027
	ZANCLUS 25	3,42 ± 0,31	16,50 ± 1,3	0,207 ± 0,025
Centre du lagon	LABRE 32	5,95 ± 0,55	34,60 ± 3,0	0,172 ± 0,022
	PIEUVRE 27	2,18 ± 0,22	11,90 ± 1,0	0,183 ± 0,024
	UMBRE 24	3,25 ± 0,32	14,90 ± 1,3	0,218 ± 0,029
Moyenne		*3,94*	*22,44*	*0,18 ± 0,02*

Tableau C.13. : Activité des ^{238}Pu, ^{239}Pu + ^{240}Pu et rapport ^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

Les figures C.14. et C.15. présentent les activités dans les sédiments superficiels en ^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu depuis 1987.

Compte tenu de l'hétérogénéité habituellement rencontrée dans la radioactivité des sédiments, les valeurs mesurées sont sensiblement équivalentes à celles obtenues les années précédentes.

Les activités en ORQUE 41 sont supérieures aux autres valeurs.

En 2006, le rapport moyen des activités ^{238}Pu / ^{239}Pu + ^{240}Pu est de 0,18. Il est plus faible que celui observé pour les sédiments du lagon de Fangataufa (environ 0,35).

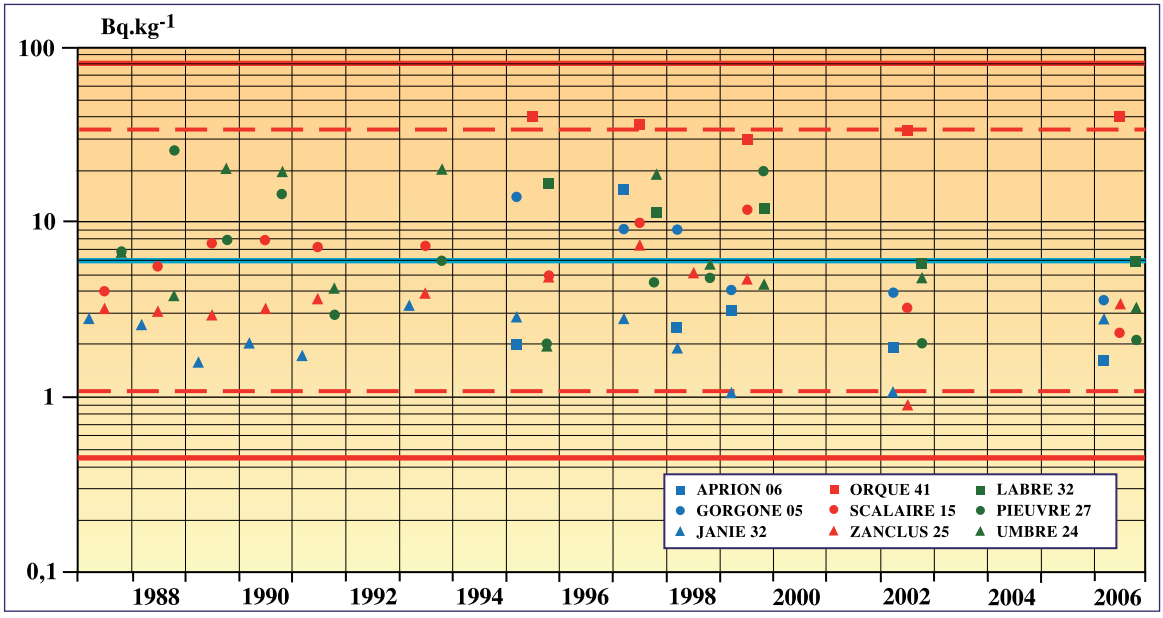


Figure C.14. : Activité du ^{238}Pu dans les sédiments de lagon de Mururoa depuis 1987.

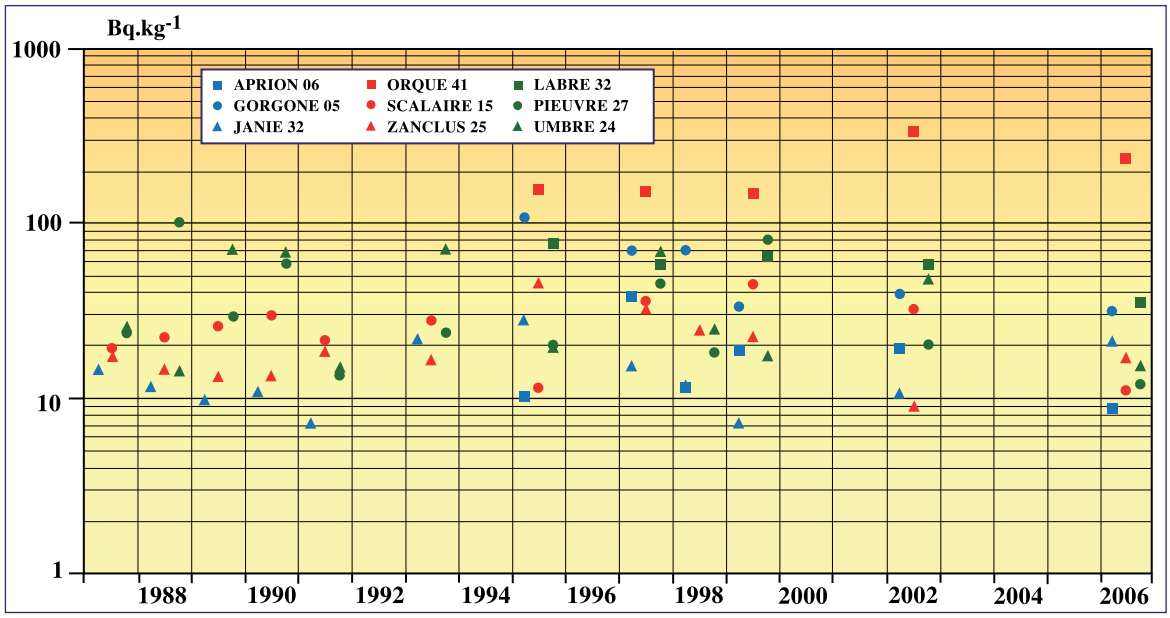


Figure C.15. : Activité du ^{239}Pu + ^{240}Pu dans les sédiments de lagon de Mururoa depuis 1987.

Sur les 72 prélèvements mesurés depuis 1987, la valeur moyenne du rapport est de 0,22 ± 0,01. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,08 ; 0,36] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs pour 2006 qui varient entre 0,11 et 0,22 sont comprises dans cet intervalle (Fig. C.16.).

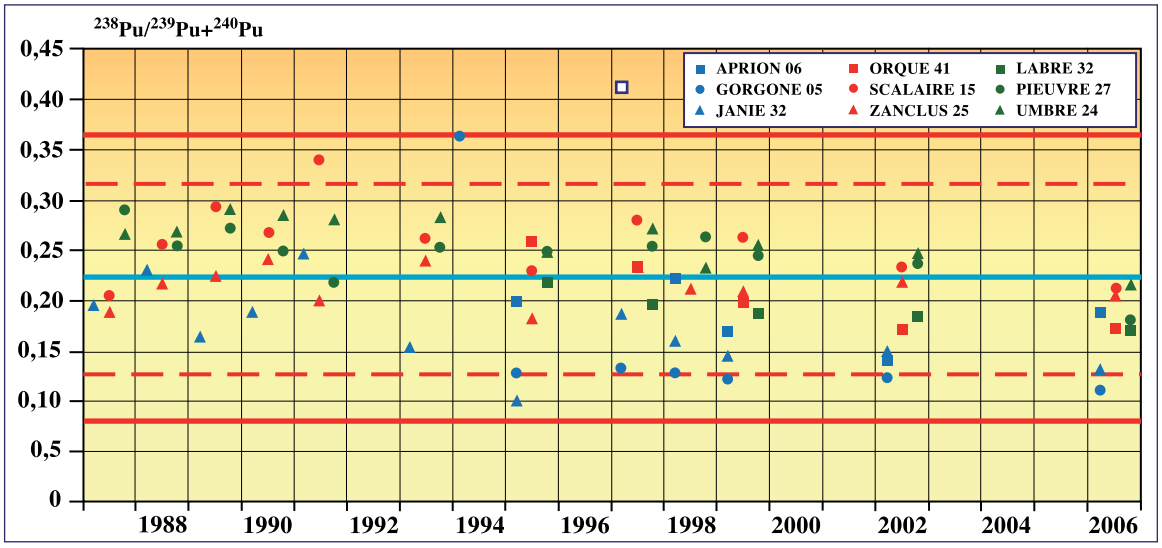


Figure C.16. : Rapport des activités du ^{239}Pu / ^{239}Pu + ^{240}Pu dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1987.

Récapitulatif

Les figures C.17. et C.18. présentent respectivement les activités des principaux radionucléides naturels (^{40}K, ^{234}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb et ^{235}U) et artificiels (^{60}Co, ^{137}Cs, ^{155}Eu, ^{125}Sb et ^{241}Am) détectés dans les sédiments du lagon de Mururoa.

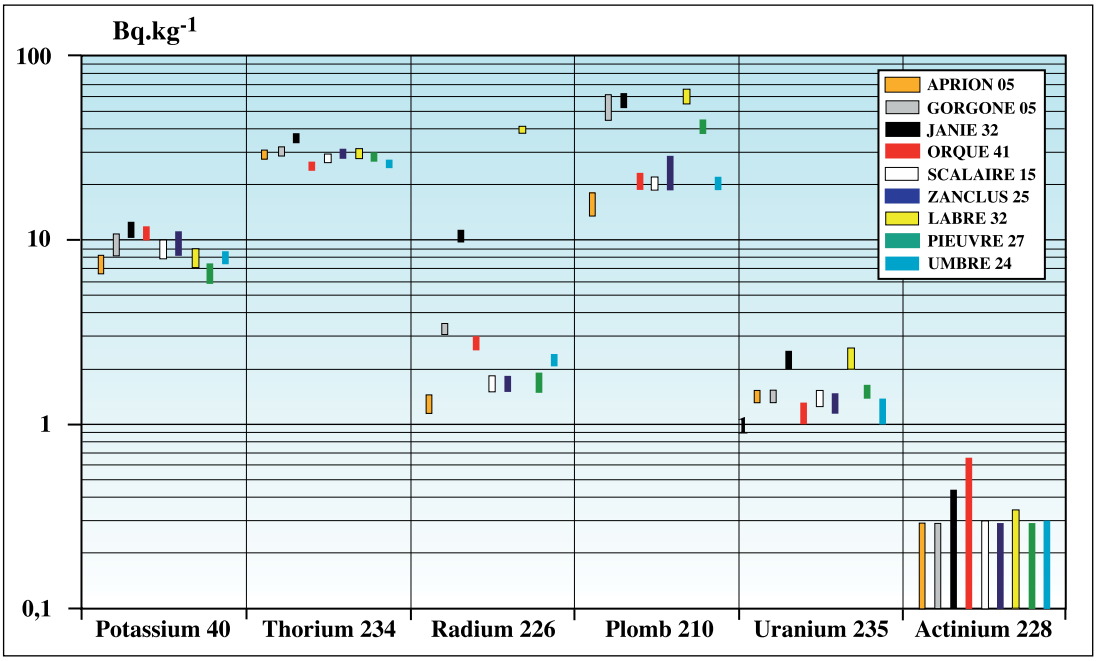


Figure C.17. : Activité naturelle dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

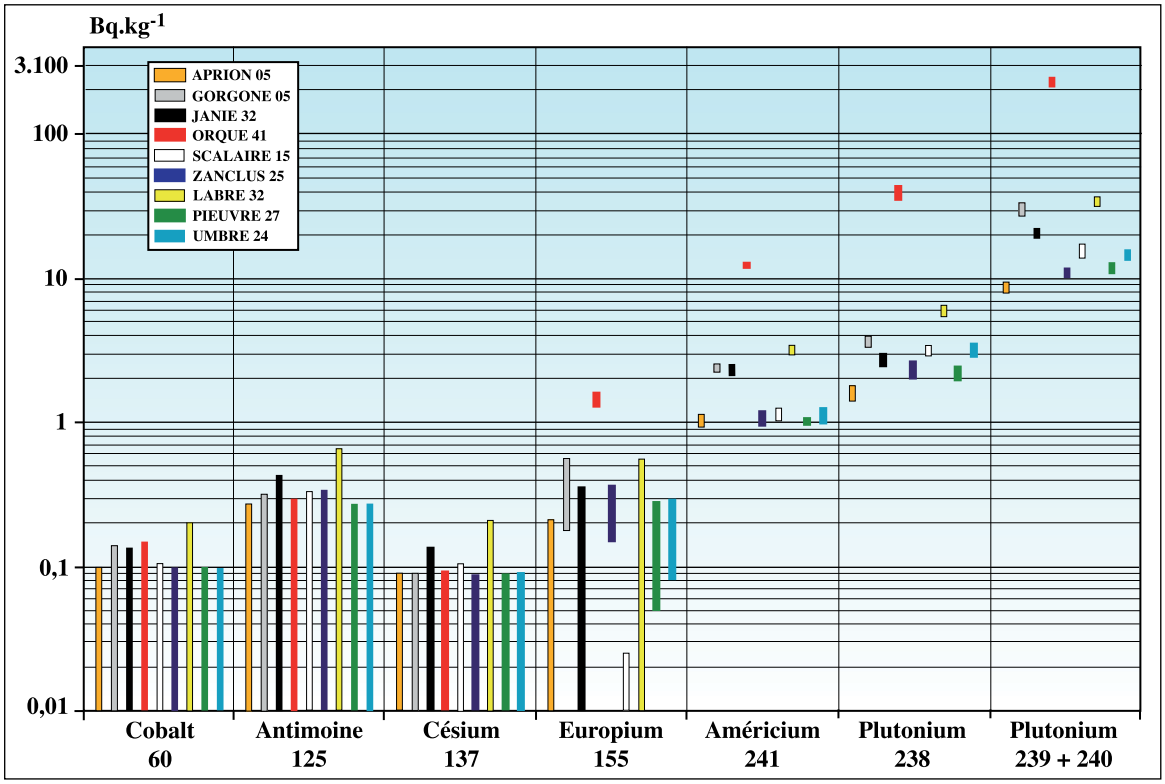


Figure C.18. : Activité artificielle dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2006.

C.2.2. - L'atoll de FANGATAUFA

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

Le tableau C14. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Zones	Lieux	^{40}K (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	CERITHE 27 LIMNEE 35 MITRE 09 TROQUE 13	6,44 ± 0,70 7 ± 0,74 6 ± 0,66 6,28 ± 0,64
Centre du lagon	MITRE 26	12,2 ± 1,9
Moyenne		*7,6 ± 2,1*

Tableau C.14. : Activité du ^{40}K dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

La figure C.19. présente l'évolution de la radioactivité en ^{40}K des sédiments superficiels depuis 1995.

Sur les 25 échantillons prélevés depuis 1995, la moyenne calculée est de 7,8 ± 0,9 Bq.kg^{-1}. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,3; 15,3] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs en 2006 qui varient entre 6 et 12,2 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

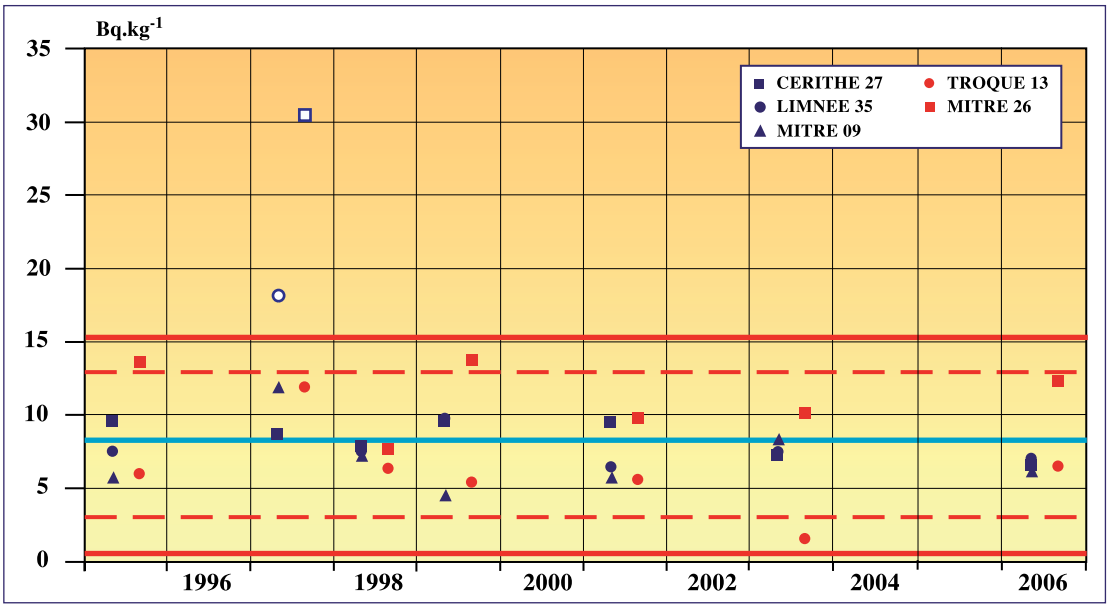


Figure C.19. : Evolution de l'activité du ^{40}K dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Famille naturelle de l'Uranium 238

Le tableau C.15. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Zones	Lieux	^{234}Th (Bq.kg^{-1} sec)	^{226}Ra* (Bq.kg^{-1} sec)	^{210}Pb (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	CERITHE 27	37,8 ± 1,9	3,15 ± 0,18	21,4 ± 2,4
	LIMNEE 35	30,6 ± 1,3	1,39 ± 0,12	15,7 ± 2,0
	MITRE 09	39,1 ± 2,0	1,17 ± 0,13	10,5 ± 1,8
	TROQUE 13	40,3 ± 2,1	1,38 ± 0,20	9,9 ± 4,8
Centre du lagon	MITRE 26	34,8 ± 2,0	13,3 ± 1,0	57,2 ± 7,5
Moyenne		*36,5 ± 3,5*	*2,48***	*18,2***

* : calculée à partir des mesures sur les descendants du ^{226}Ra (^{214}Pb, ^{214}Bi).

** : moyenne géométrique

Tableau C.15. : Activité des ^{234}Th, ^{226}Ra et ^{210}Pb dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

Les figures C.20., C.21. et C.22. présentent l'évolution de l'activité depuis 1995 dans les sédiments superficiels de trois radionucléides (^{234}Th, ^{226}Ra et ^{210}Pb), émetteurs γ de la famille naturelle de l'uranium 238.

Pour le ^{234}Th, la moyenne calculée est de 34,9 ± 2,1 Bq.kg^{-1} sur les 30 échantillons prélevés depuis 1995. L'intervalle de probabilité 99,7 % [17,7 ; 52,2] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2006 qui varient entre 30,6 et 40,3 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

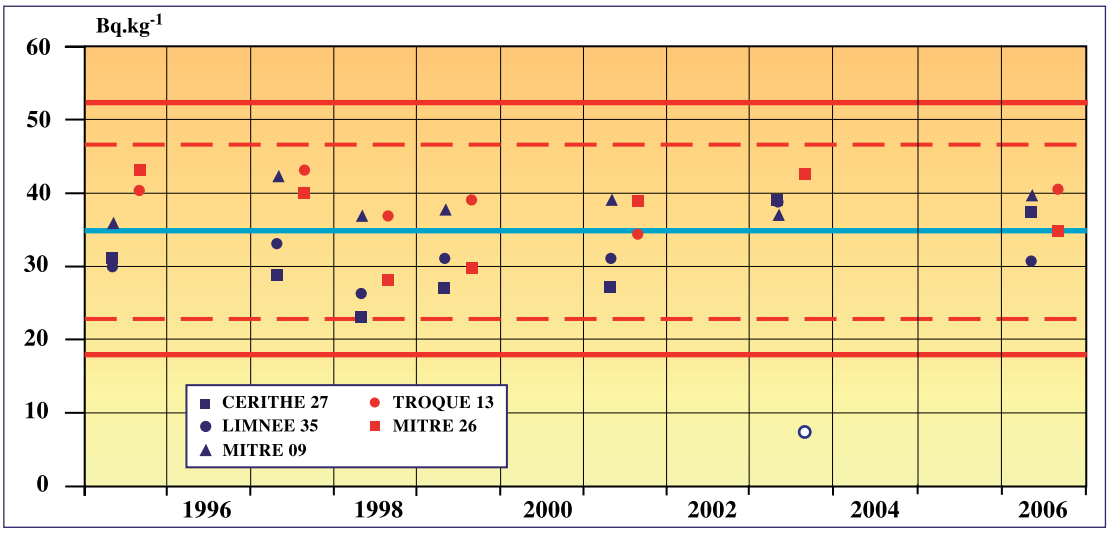


Figure C.20. : Evolution de l'activité du ^{234}Th dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

L'activité du ^{226}Ra est toujours hétérogène. La moyenne géométrique est de 2,48 Bq.kg^{-1} calculée sur les 30 échantillons prélevés depuis 1995. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,1 ; 29,9] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2006 qui varient entre 1,2 et 13,3 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

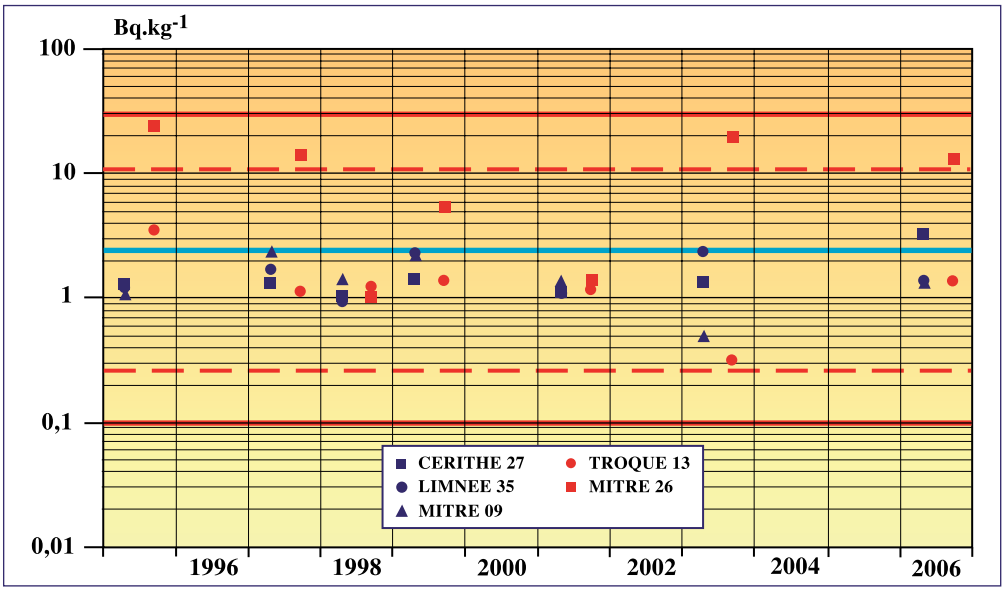


Figure C.21. : Evolution de l'activité du ^{226}Ra dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

L'activité des sédiments en ^{210}Pb est aussi très hétérogène. La moyenne géométrique est de 15,1 Bq.kg^{-1} calculée sur les 30 échantillons prélevés depuis 1995. L'intervalle de probabilité 99,7 % [1,4 ; 166] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2006 qui varient entre 9,9 et 57,2 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

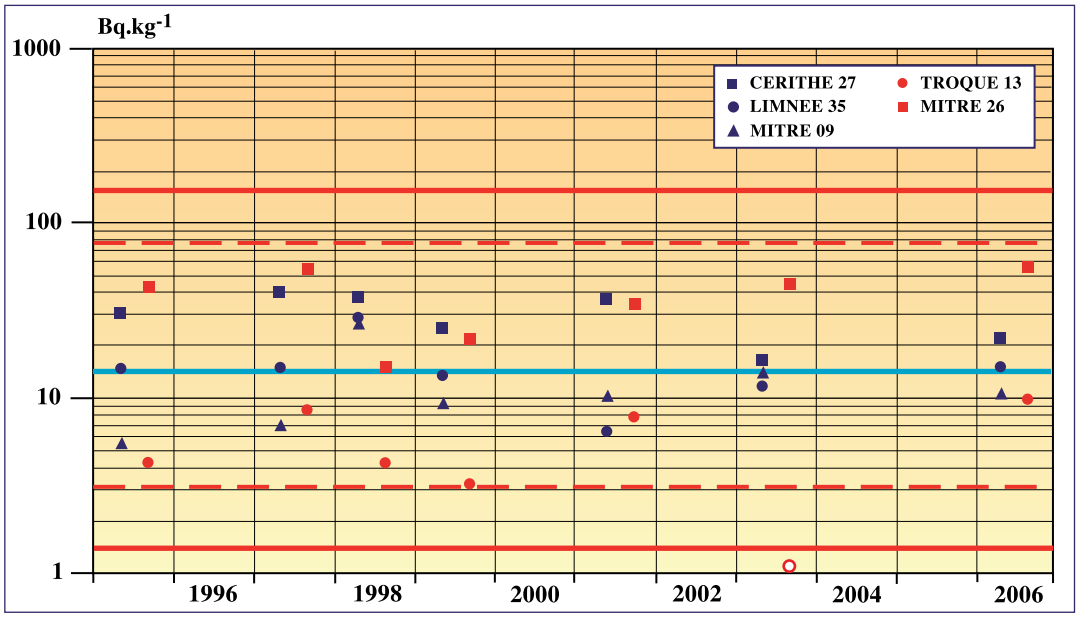


Figure C.22. : Evolution de l'activité du ^{210}Pb dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Un important fractionnement de la chaîne naturelle de l'uranium 238 est généralement observé dans les sédiments. Les résultats de mesure permettent de mettre en évidence une discontinuité de la chaîne, au niveau du ^{226}Ra ; les activités du ^{226}Ra sont, en général, près de 10 fois plus faibles que celles du ^{234}Th. Les écarts observés dans la filiation s'expliquent par des solubilités différentes des éléments constituant la famille naturelle. Dans l'eau de mer, l'uranium (^{238}U, ^{234}U) et le radium (^{226}Ra) sont solubles, alors que leurs descendants thorium (^{234}Th, ^{230}Th) ou plomb (^{210}Pb), très peu solubles et très réactifs, sont très rapidement entraînés vers le fond du lagon par les particules microscopiques d'origine biologique.

Uranium 235

Le tableau C.16. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Zones	Lieux	^{235}U (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	CERITHE 27	1,66 ± 0,22
	LIMNEE 35	1,35 ± 0,17
	MITRE 09	1,71 ± 0,21
	TROQUE 13	1,92 ± 0,15
Centre du lagon	MITRE 26	1,74 ± 0,26
Moyenne		*1,68 ± 0,19*

Tableau C.16. : Activité de l'^{235}U dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

La figure C.23. présente l'évolution depuis 1995 de l'activité des sédiments superficiels en ^{235}U.

Pour l'uranium 235, la moyenne est de 1,74 ± 0,11 Bq.kg^{-1} calculée sur les 30 prélèvements effectués depuis 1995. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,68 ; 2,69] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2006 qui varient entre 1,4 et 1,9 Bq.kg^{-1}, sont comprises dans cet intervalle.

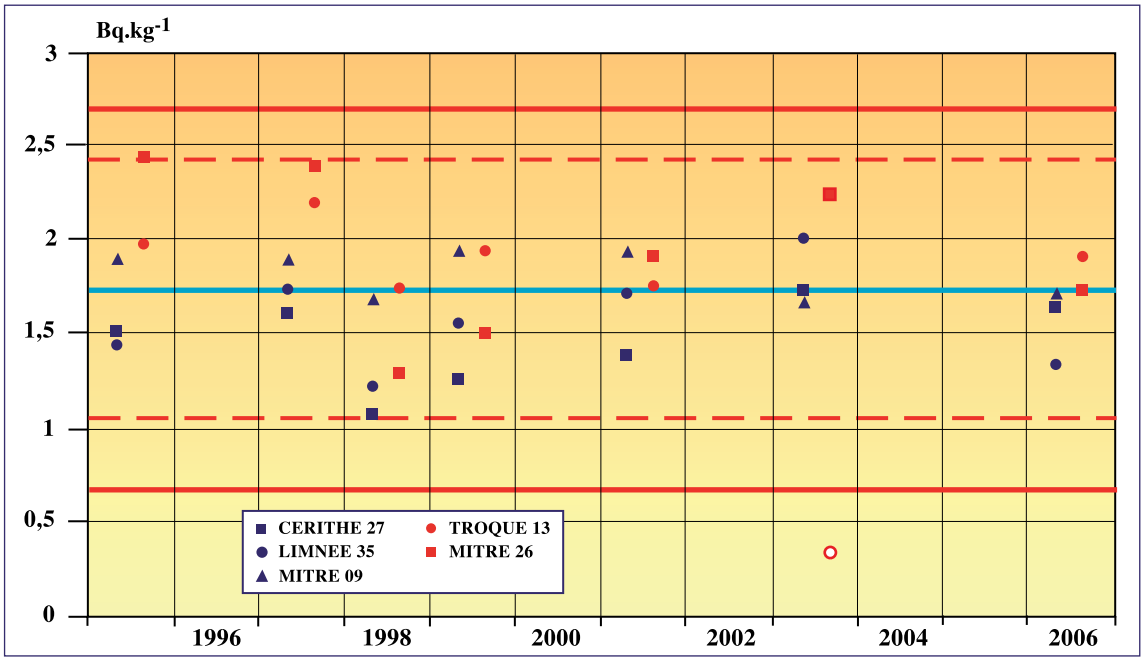


Figure C.23. : Evolution de l'activité de l'^{235}U dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Les activités mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le ^{234}Th (Tableau C.17.). On peut en conclure qu'il y a un équilibre radioactif entre ^{238}U et son descendant ^{234}Th dans les sédiments, puisque le rapport des activités ^{238}U/^{235}U est de l'ordre de 20 pour l'uranium naturel. La figure C.24. présente les rapports des activités ^{234}Th/^{235}U obtenus depuis 1995.

Zones	Lieux	Rapport ^{234}Th/^{235}U
Pourtour du lagon	CERITHE 27	22,8 ± 3,2
	LIMNEE 35	22,7 ± 3,0
	MITRE 09	22,9 ± 3,0
	TROQUE 13	21,0 ± 2,0
Centre du lagon	MITRE 26	20,0 ± 3,2
Moyenne		*21,9 ± 1,2*

Tableau C.17. : Rapport des activités ^{234}Th/^{235}U dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

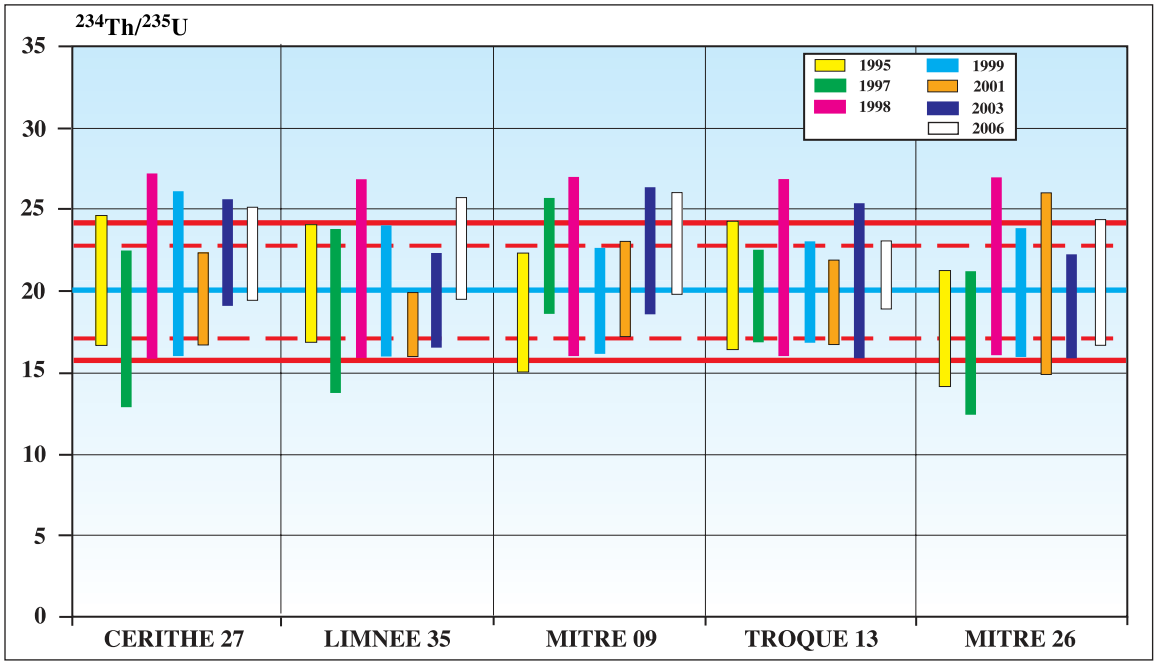


Figure C.24. : Rapport des activités ^{234}Th/^{235}U des sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Sur l'ensemble des valeurs du rapport ^{234}Th/^{235}U calculées depuis 1995 (sans les valeurs hors normes), la moyenne est de 20,8 ± 1,5. L'intervalle de probabilité 99,7 % [15,8 ; 24,2] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs 2006 qui varient entre 19,1 et 22,5 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

Famille naturelle du thorium 232

La radioactivité des sédiments de lagon, ayant pour origine la famille naturelle du ^{232}Th n'a pas pu être détectée. Comme les années précédentes, aucun résultat significatif n'a été obtenu cette année pour la mesure de la radioactivité en ^{228}Ac, radionucléide émetteur γ faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th (Tableau C.18.).

Zones	Lieux	^{228}Ac (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	CERITHE 27 LIMNEE 35 MITRE 09 TROQUE 13	≤ 0,30 ≤ 0,29 ≤ 0,28 ≤ 0,24
Centre du lagon	MITRE 26	≤ 0,38

Tableau C.18. : Activité de l'^{228}Ac dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

Radioactivité d'origine artificielle

La radioactivité d'origine artificielle des sédiments des fonds des lagons n'est pas répartie de façon uniforme, elle est, entre autre, fonction de la distance du point de prélèvement aux anciens points zéro des essais aériens. On ne peut donc pas considérer l'ensemble des résultats comme une population statistique et y appliquer la démarche habituelle.

Cobalt 60

Le tableau C.19. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Zones	Lieux	^{60}Co (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	CERITHE 27 LIMNEE 35 MITRE 09 TROQUE 13	0,24 ± 0,03 0,23 ± 0,03 0,40 ± 0,04 0,24 ± 0,08
Centre du lagon	MITRE 26	0,67 ± 0,13
Moyenne		*0,27*

Tableau C.19. : Activité du ^{60}Co dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

La figure C.25. présente l'évolution de l'activité en ^{60}Co des sédiments superficiels depuis 1995. *Les courbes bleues correspondent à la décroissance théorique du Cobalt 60.*

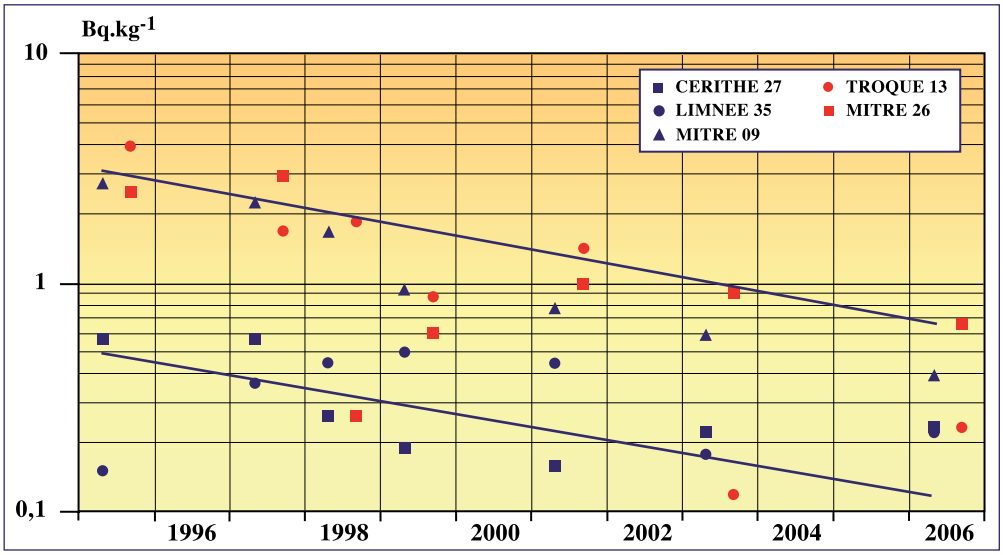


Figure C.25. : Evolution de l'activité du ^{60}Co dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Antimoine 125

Le tableau C.20. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Zones	Lieux	^{125}Sb (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	CERITHE 27 LIMNEE 35 MITRE 09 TROQUE 13	≤ 0,28 ≤ 0,27 ≤ 0,26 ≤ 0,29
Centre du lagon	MITRE 26	≤ 0,45

Tableau C.20. : Activité du ^{125}Sb dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

Comme les années précédentes, la mesure de l'activité du ^{125}Sb n'a pas donné de résultats significatifs (résultats inférieurs aux limites de détection).

Césium 137

Le tableau C.21. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Zones	Lieux	^{137}Cs (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	CERITHE 27 LIMNEE 35 MITRE 09 TROQUE 13	≤ 0,092 0,055 ± 0,026 0,051 ± 0,022 ≤ 0,082
Centre du lagon	MITRE 26	0,53 ± 0,14

Tableau C.21. : Activité du ^{137}Cs dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

Les valeurs mesurées sont inférieures aux limites de détection.

Strontium 90

Les mesures en ^{137}Cs étant inférieure à 1 $Bq.kg^{-1}$, aucune analyse ^{90}Sr n'a été effectuée sur les prélèvements de sédiments.

Europium 155

Le tableau C.22. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Zones	Lieux	^{155}Eu ($Bq.kg^{-1}$ sec)
Pourtour du lagon	CERITHE 27	0,38 ± 0,15
	LIMNEE 35	1,59 ± 0,17
	MITRE 09	1,30 ± 0,18
	TROQUE 13	1,68 ± 0,19
Centre du lagon	MITRE 26	3,73 ± 0,28
Moyenne		*1,38*

Tableau C.22. : Activité de l'^{155}Eu dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

La figure C.26. présente l'activité des sédiments superficiels de l'^{155}Eu depuis 1995. On observe globalement une diminution de l'activité de l'^{155}Eu au cours du temps. Cette diminution est essentiellement due à la décroissance radioactive de ce radionucléide (4,73 ans de période physique représentée par la droite bleue)

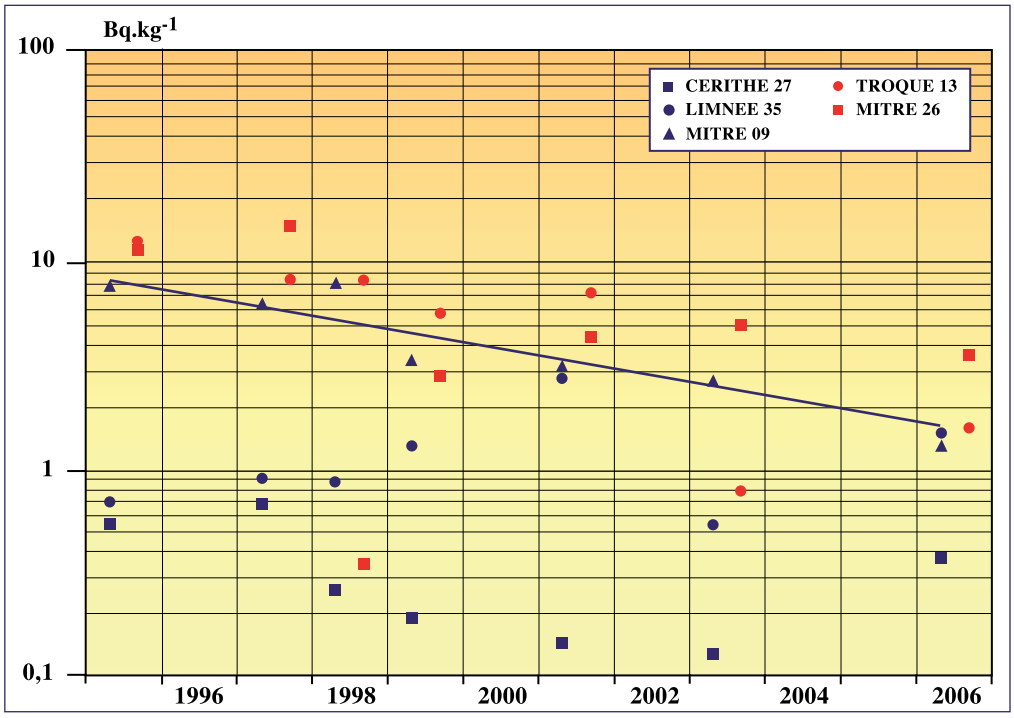


Figure C.26. : Activité de l'^{155}Eu dans les sédiments de lagon à Fangataufa depuis 1995.

La figure C.27. met en évidence cette diminution au point MITRE 09 avec une période apparente de 4,7 ± 2,6 ans du même ordre de grandeur que la période radioactive de ce radionucléide.

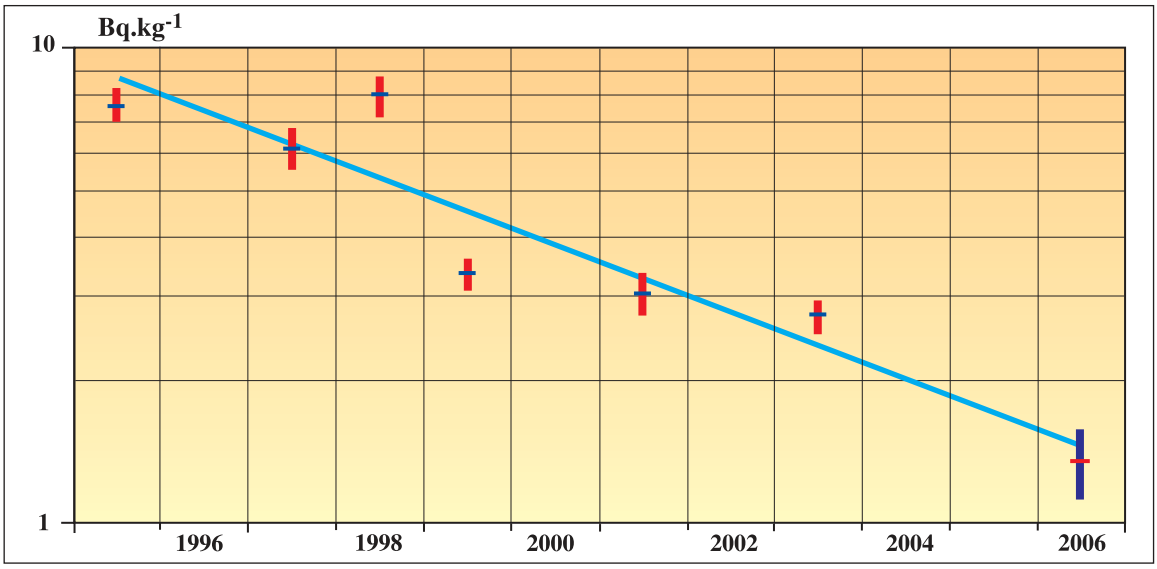


Figure C.27. : Evolution de l'activité de l'^{155}Eu dans les sédiments prélevés au point MITRE 09 depuis 1995.

Américium 241

Le tableau C.23. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Zones	Lieux	^{241}Am (Bq.kg^{-1} sec)
Pourtour du lagon	CERITHE 27 LIMNEE 35 MITRE 09 TROQUE 13	2,51 ± 0,22 8,24 ± 0,44 6,40 ± 0,46 8,43 ± 0,70
Centre du lagon	MITRE 26	18,9 ± 0,60
Moyenne		*5,78*

Tableau C.23. : Activité de l'^{241}Am dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

Les valeurs en 2006 sont du même ordre de grandeur que celles obtenues les années précédentes à l'exception de celle de MITRE 26.

La figure C.28. présente l'évolution de l'activité des sédiments superficiels de l'américium 241 depuis 1995.

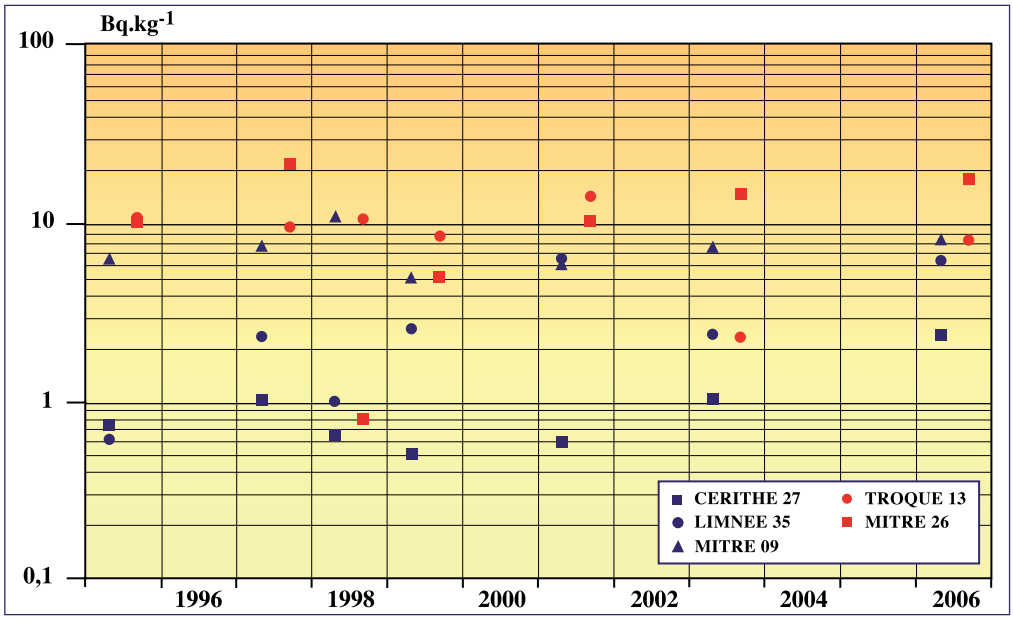


Figure C.28. : Evolution de l'activité de l'^{241}Am dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Plutonium 238 et plutonium 239 + plutonium 240

Le tableau C.24. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Zones	Lieux	^{238}Pu (Bq.kg^{-1} sec)	^{239}Pu + ^{240}Pu (Bq.kg^{-1} sec)	Rapport ^{238}Pu/^{239}Pu + ^{240}Pu
Pourtour du lagon	CERITHE 27	8,57 ± 0,73	26,5 ± 2,2	0,32 ± 0,04
	LIMNEE 35	39,1 ± 3,9	102 ± 10	0,38 ± 0,05
	MITRE 09	27,3 ± 2,5	84,4 ± 7,8	0,32 ± 0,04
	TROQUE 13	38,9 ± 3,7	115 ± 11	0,34 ± 0,05
Centre du lagon	MITRE 26	92,9 ± 8,6	262 ± 24	0,35 ± 0,05
Moyenne		*32*	*93*	*0,34 ± 0,03*

Tableau C.24. : Activité des ^{238}Pu, ^{239}Pu+^{240}Pu et le rapport ^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

Compte tenu de l'hétérogénéité habituellement rencontrée dans la radioactivité des sédiments, les valeurs mesurées en 2006 sont sensiblement équivalentes à celles obtenues les années précédentes.

Les figures C.29. et C.30. présentent les activités dans les sédiments superficiels en ^{238}Pu et en ^{239}Pu + ^{240}Pu depuis 1995.

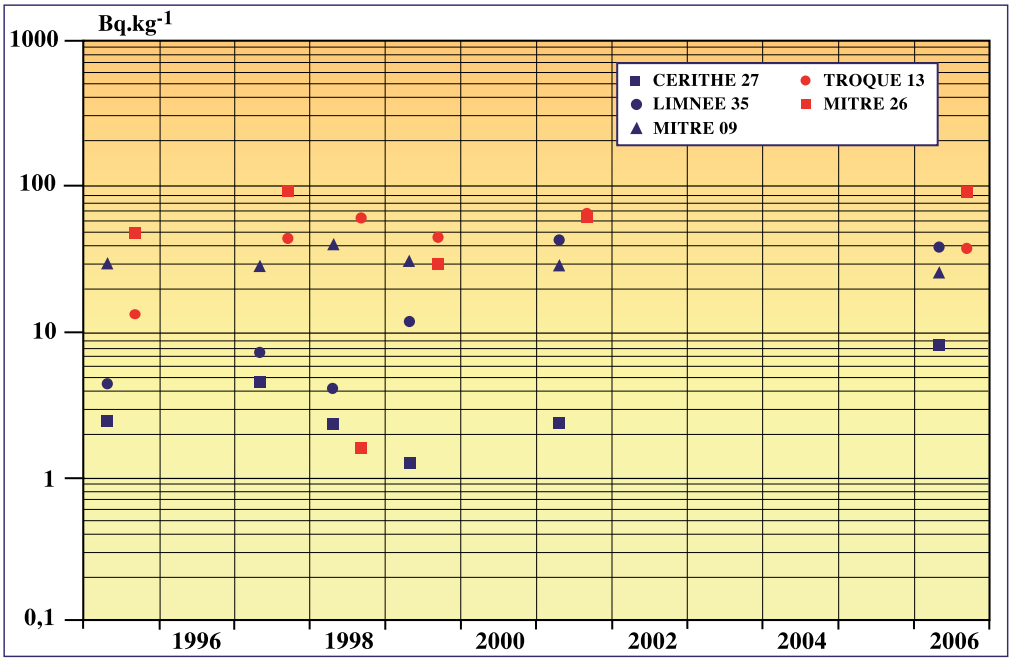


Figure C.29. : Activité du ^{238}Pu dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

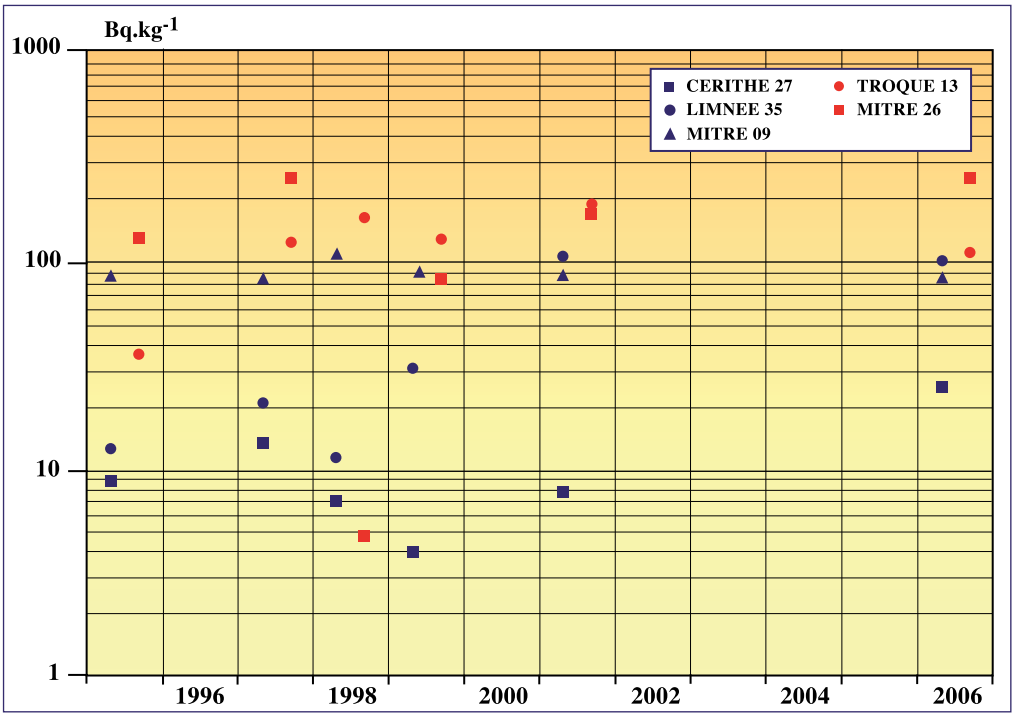


Figure C.30. : Activité du ^{239}Pu + ^{240}Pu dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Le rapport moyen, en 2006, des activités $^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu$ est de 0,34 ± 0,03. Il est un peu plus élevé que celui observé pour les sédiments du lagon de Mururoa (environ 0,20).

Sur les 25 prélèvements mesurés depuis 1995, la valeur moyenne du rapport est de 0,35 ± 0,009 (Fig. C.31.).

L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,28 ; 0,42] traduit la dispersion des résultats. Les valeurs pour 2006 qui varient entre 0,32 et 0,38 sont comprises dans cet intervalle.

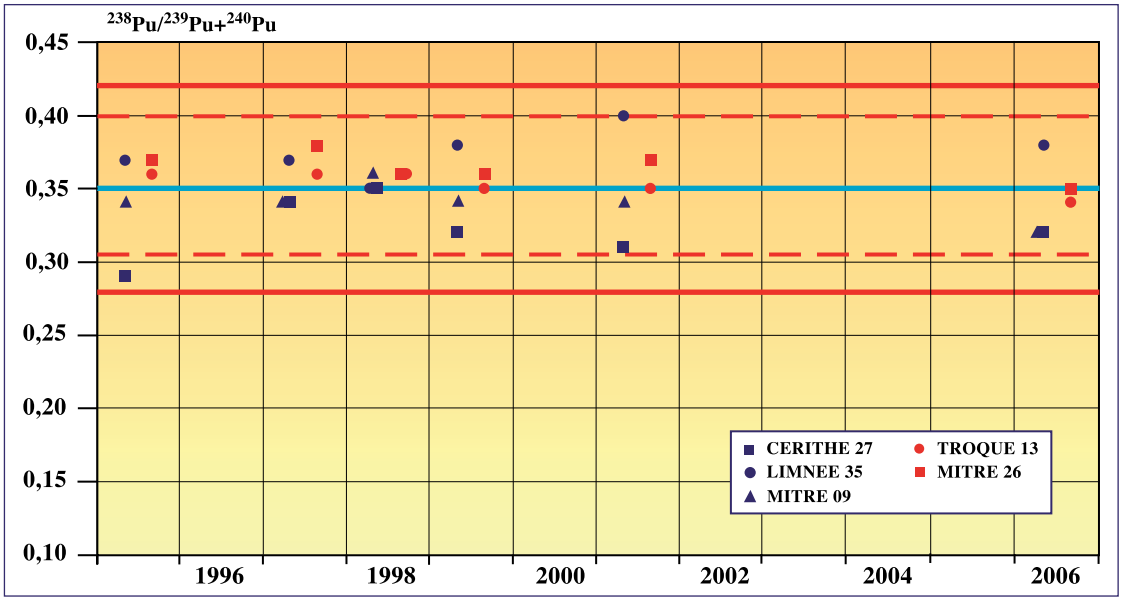


Figure C.31. : Rapport des activités $^{238}Pu/^{239}Pu+^{240}Pu$ dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Récapitulatif

Les figures C.32. et C.33. présentent respectivement les activités des principaux radionucléides naturels (^{40}K, ^{234}Th, ^{226}Ra, ^{210}Pb et ^{235}U) et artificiels (^{60}Co, ^{137}Cs, ^{155}Eu, ^{125}Sb, ^{241}Am, ^{238}Pu et ^{239}Pu + ^{240}Pu) détectés dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

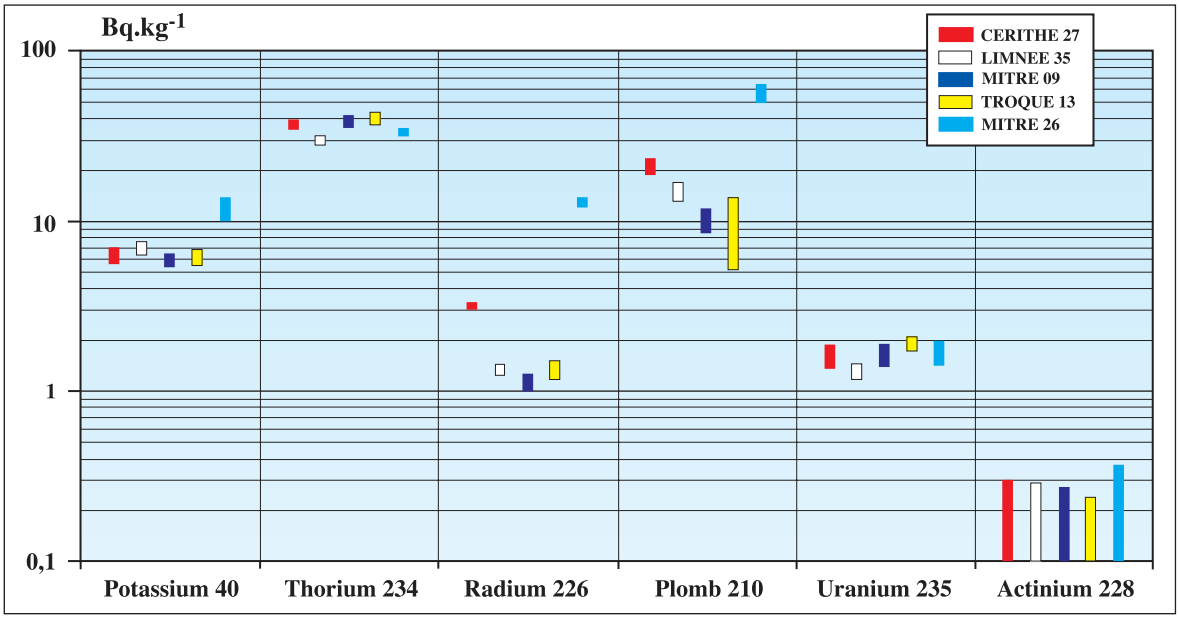


Figure C.32. : Activité naturelle dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

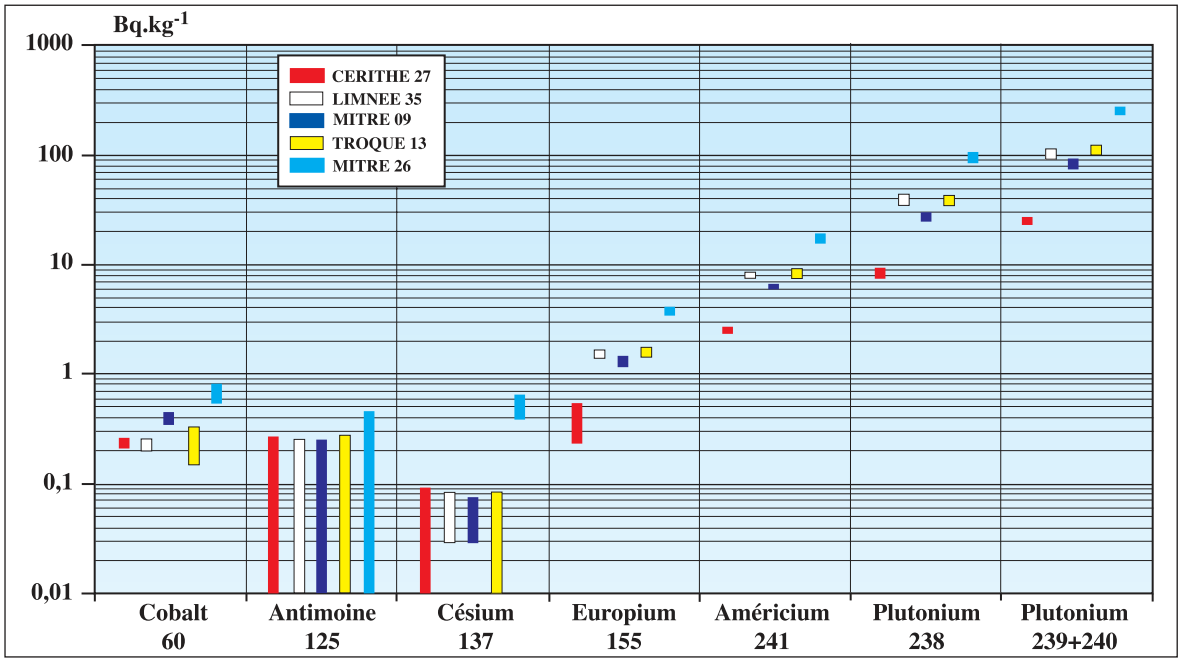


Figure C.33. : Activité artificielle dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2006.

Annexe D

La surveillance des eaux océaniques

Annexe D
LA SURVEILLANCE DU MILIEU OCEANIQUE

D.1. - LES EAUX OCEANIQUES

D.1.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

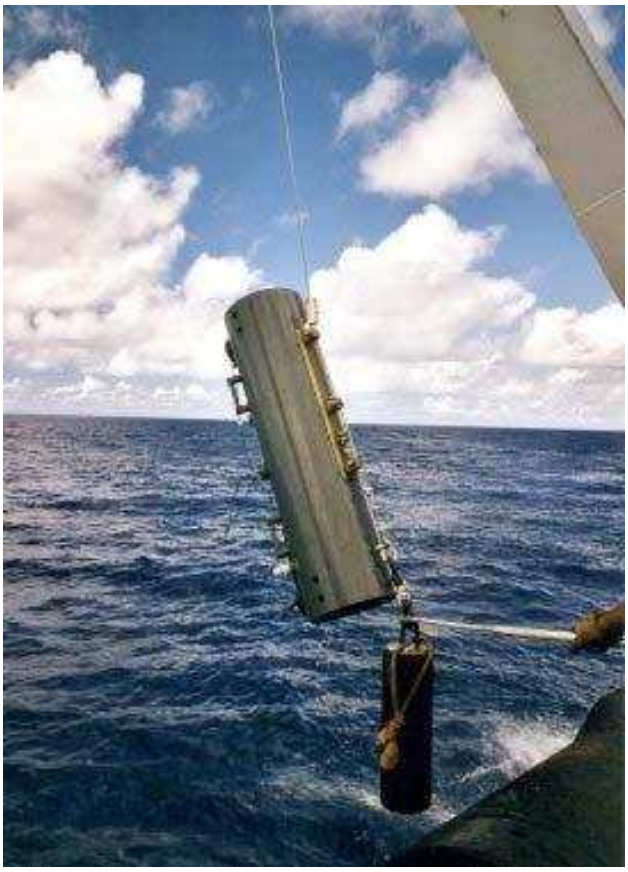
L'édition 2003, du guide de surveillance radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa reprend la modification apportée en 2001 à ce prélèvement.

Des prélèvements d'eaux océaniques sont réalisés tous les quatre ans en un point aux six profondeurs suivantes : subsurface, 200 m, 400 m, 600 m, 800 m et 1 000 m.

Un échantillon de 2 x 30 litres est prélevé pour la mesure du césium 137, du strontium 90 et des isotopes du plutonium ainsi qu'un échantillon de 2 x 50 millilitres pour la mesure du tritium (HTO).

La mesure du plutonium est réalisée par ICPMS. Cette technique est plus sensible que la spectrométrie α mais elle ne permet pas de mesurer l'isotope ^{238}Pu (la masse correspondante en ^{238}Pu étant trop faible).

Le prélèvement en 2005 a été réalisé entre Mururoa et Fangataufa (Fig. D.1.).



Prélèvement d'eaux océaniques effectué à l'aide d'une bouteille « General Oceanic » de 60 litres.

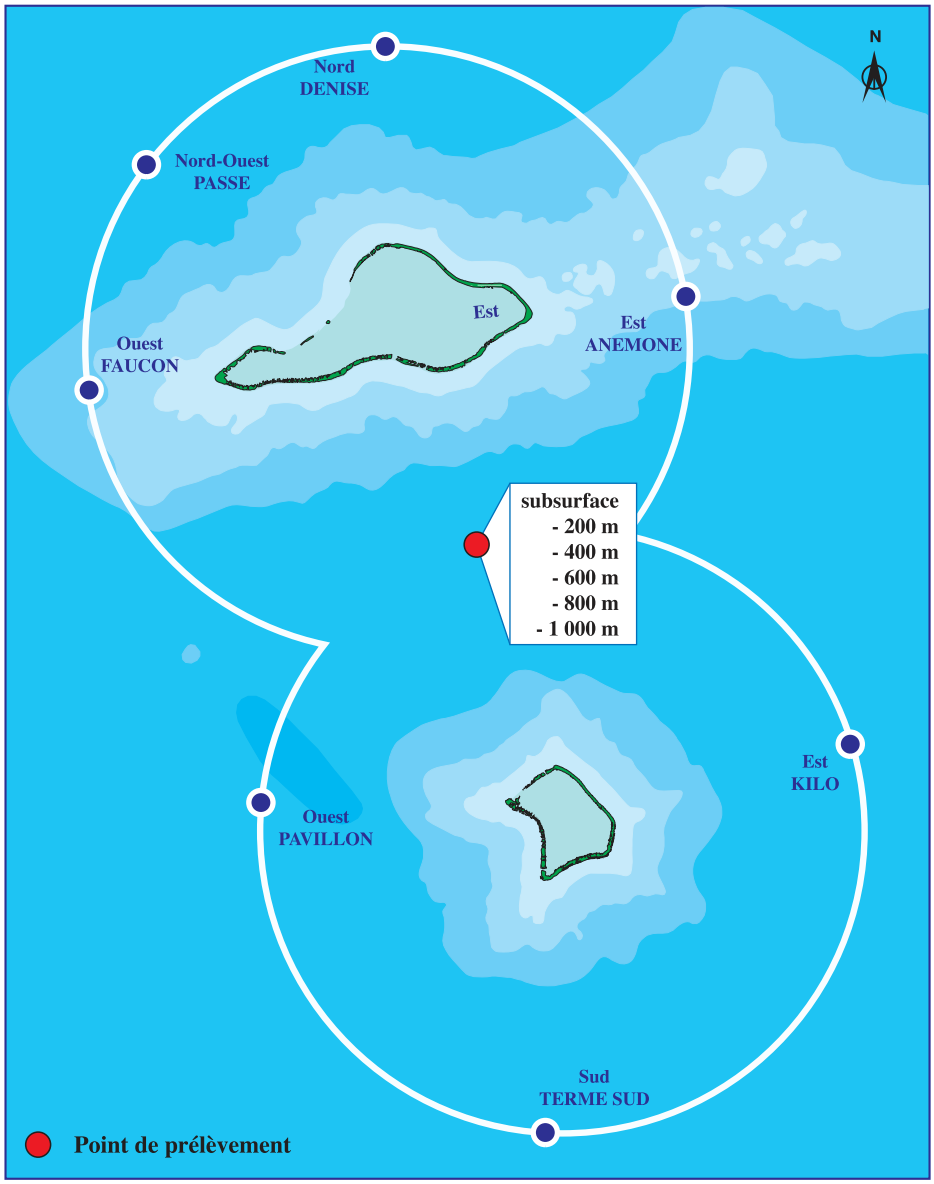


Figure D.1. : Point de prélèvement des eaux océaniques en 2005.

Les caractéristiques des prélèvements des eaux océaniques réalisées en 2005 sont données dans le tableau D.1.

Lieux	Date de prélèvement	Coordonnées géographiques	Profondeur (m)
Entre MURUROA et FANGATAUFA	26.03.05	22° 03,800' S 138° 50,900' W	Subsurface 200 400 600 800 1 000

Tableau D.1. : Caractéristiques des prélèvements des eaux océaniques en 2005.

D.1.2. – LES RESULTATS

Le tableau D.2. et la figure D.2. présentent les résultats des mesures de la radioactivité dans les eaux océaniques.

Lieux	Profondeur (m)	HTO ($Bq.m^{-3}$)	^{137}Cs ($Bq.m^{-3}$)	^{90}Sr ($Bq.m^{-3}$)	^{239}Pu ($Bq.m^{-3}$)	^{240}Pu ($Bq.m^{-3}$)
Entre MURUROA et FANGATAUFA	Subsurface	≤ 800	1,01 ± 0,48	0,82 ± 0,20	$(1,07 \pm 0,33) . 10^{-3}$	$\leq 4,30 . 10^{-4}$
	200	≤ 800	1,56 ± 0,47	0,85 ± 0,18	$(3,30 \pm 1,20) . 10^{-4}$	$\leq 5,10 . 10^{-4}$
	400	≤ 900	0,83 ± 0,40	0,65 ± 0,18	$(1,12 \pm 0,38) . 10^{-3}$	$\leq 3,70 . 10^{-4}$
	600	≤ 900	≤ 0,72	0,66 ± 0,20	$(3,86 \pm 0,24) . 10^{-3}$	$(2,15 \pm 0,51) . 10^{-3}$
	800	≤ 800	≤ 0,56	0,39 ± 0,16	$(4,58 \pm 0,83) . 10^{-3}$	$(3,06 \pm 0,97) . 10^{-3}$
	1 000	≤ 900	≤ 0,75	0,22 ± 0,14	$(2,45 \pm 0,24) . 10^{-3}$	$(1,57 \pm 0,71) . 10^{-3}$

Tableau D.2. : Activité des eaux océaniques prélevées dans la limite des 12 milles nautiques des atolls de Mururoa et de Fangataufa en 2005.

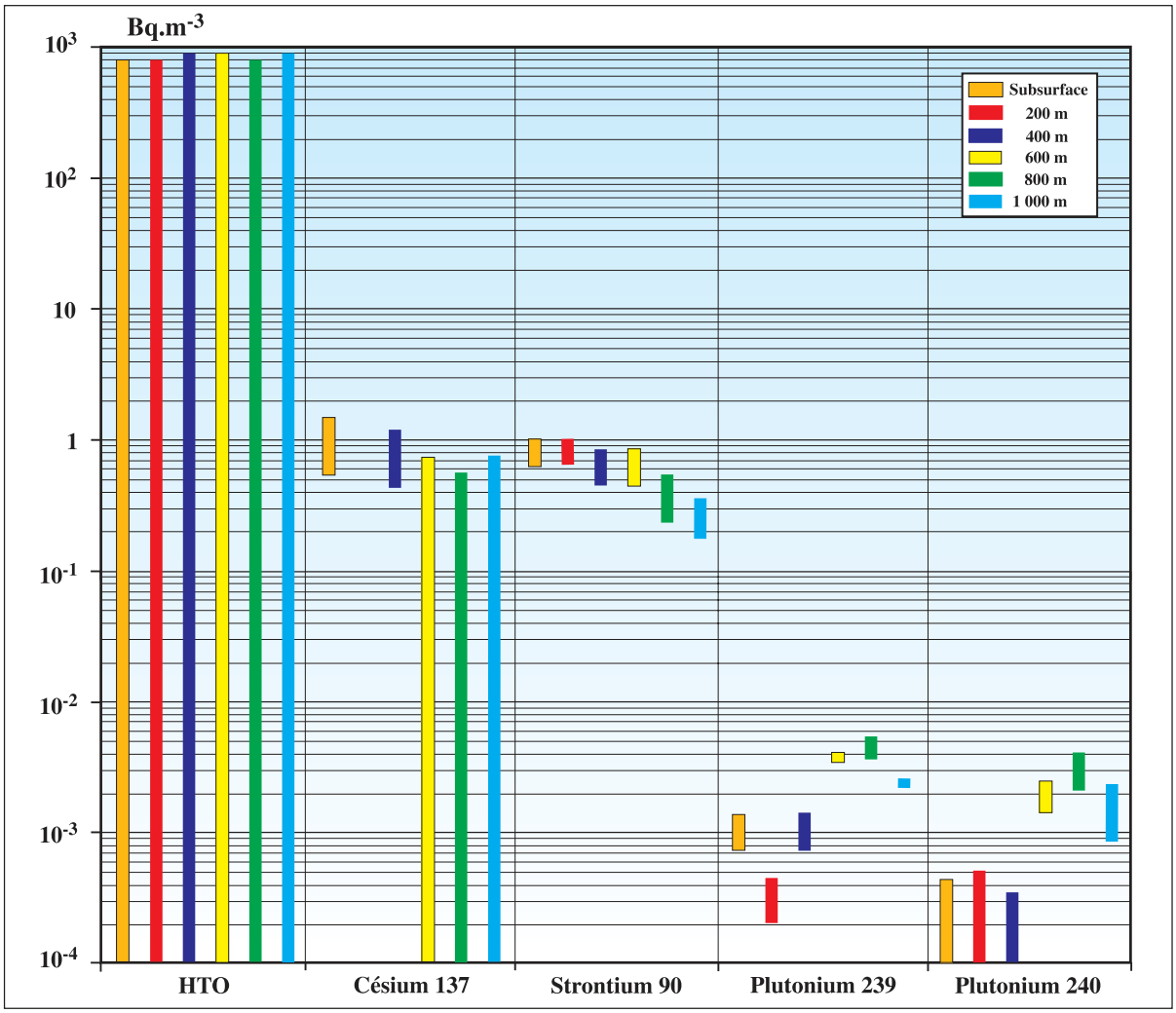


Figure D.2. : Activité des eaux océaniques prélevées dans la limite des 12 milles nautiques des atolls de Mururoa et de Fangataufa en 2005.

HTO

Les différentes mesures sont toutes inférieures à la limite de détection des appareils de mesure.

Césium

Les valeurs obtenues pour le césium 137 aux différentes profondeurs sont du même ordre de grandeur que les résultats obtenus les années antérieures.

Les résultats aux niveaux le plus bas, (en 2002 à 1 000 m et en 2005 à 600, 800 et 1 000 m) sont inférieurs aux limites de détection des appareils de mesure. La figure D.3. donne le profil de l'activité en césium 137 dans les eaux océaniques.

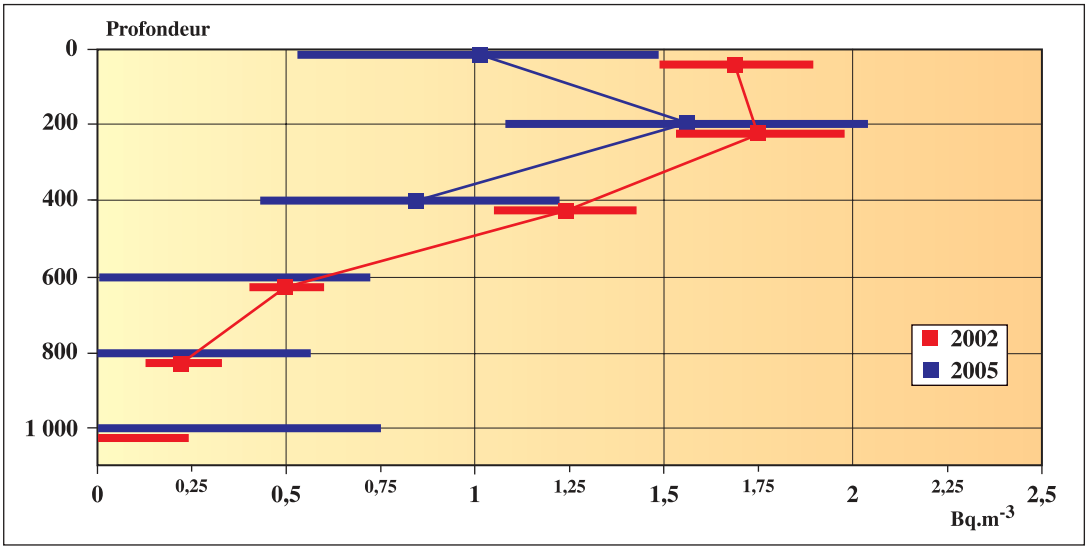


Figure D.3. : Profil de l'activité en césium 137 dans les eaux océaniques en 2002 et 2005.

Strontium

Les valeurs obtenues pour le strontium 90 aux différentes profondeurs sont du même ordre de grandeur que les résultats obtenus les années antérieures.

Les résultats aux niveaux le plus bas en 2002 (800 et 1 000 m) sont inférieurs aux limites de détection des appareils de mesure. La figure D.4. donne le profil de l'activité en strontium 90 dans les eaux océaniques.

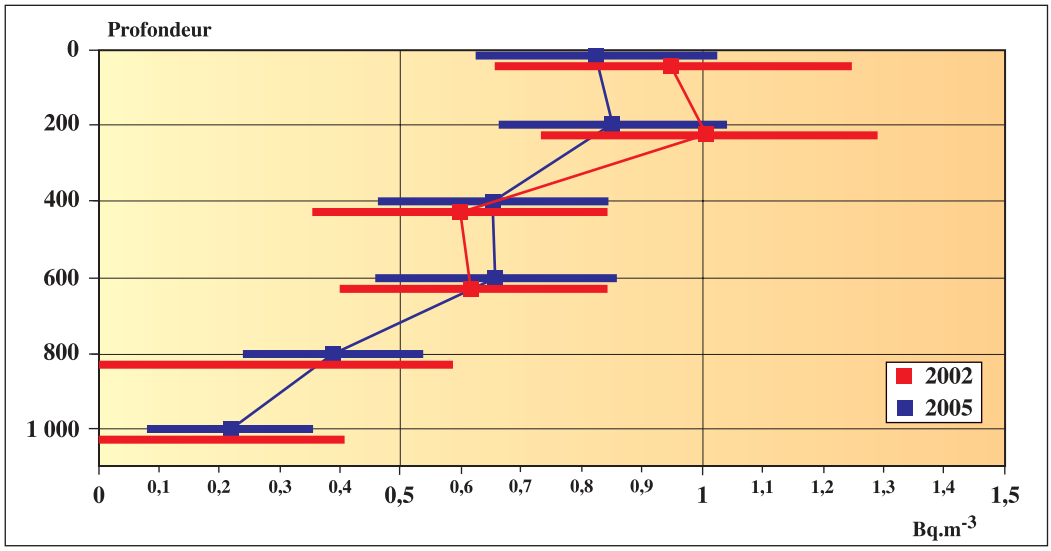


Figure D.4. : Profil de l'activité en strontium 90 dans les eaux océaniques en 2002 et 2005.

Rapport Césium 137 / Strontium 90

Les rapports en activité ^{137}Cs / ^{90}Sr calculés en 2005 sont donnés dans le tableau D.3. et présentés dans la figure D.5. Le rapport est en moyenne de 1,45 dans les eaux océaniques peu profondes, ce qui est la valeur généralement admise.

Lieu	Profondeur (m)	Rapport ^{137}Cs / ^{90}Sr
Entre MURUROA et FANGATAUFA	Subsurface	1,23 ± 0,89
	200	1,84 ± 0,94
	400	1,28 ± 0,97
	600	non calculé
	800	non calculé
	1 000	non calculé

Tableau D.3. : Rapport en activité ^{137}Cs / ^{90}Sr dans les eaux océaniques en 2005.

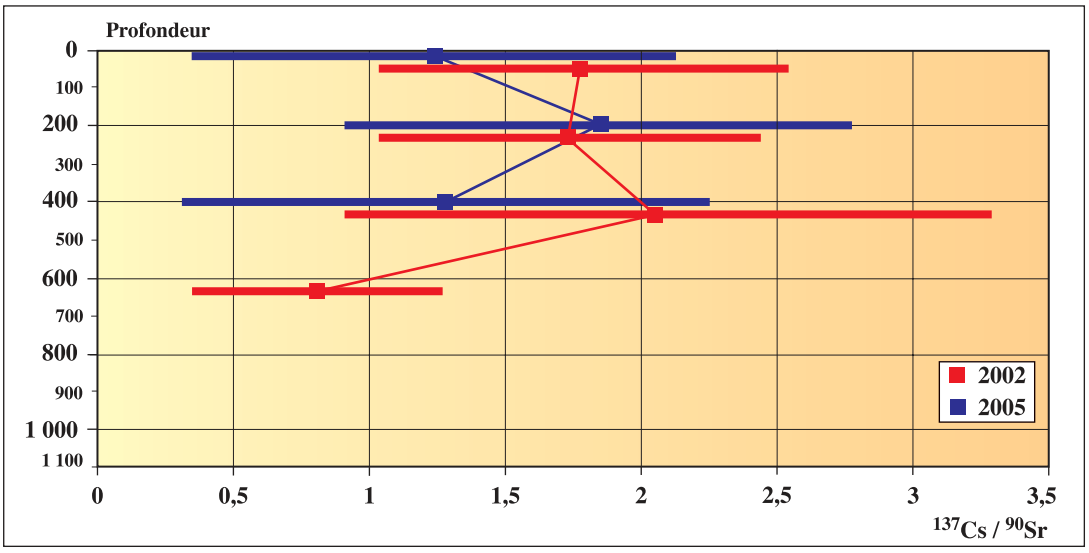


Figure D.5. : Profil du rapport en activité ^{137}Cs / ^{90}Sr dans les eaux océaniques en 2002 et 2005.

Plutonium 239 et plutonium 240

Ces résultats sont aussi présentés sous forme graphique (Figure D.6.).

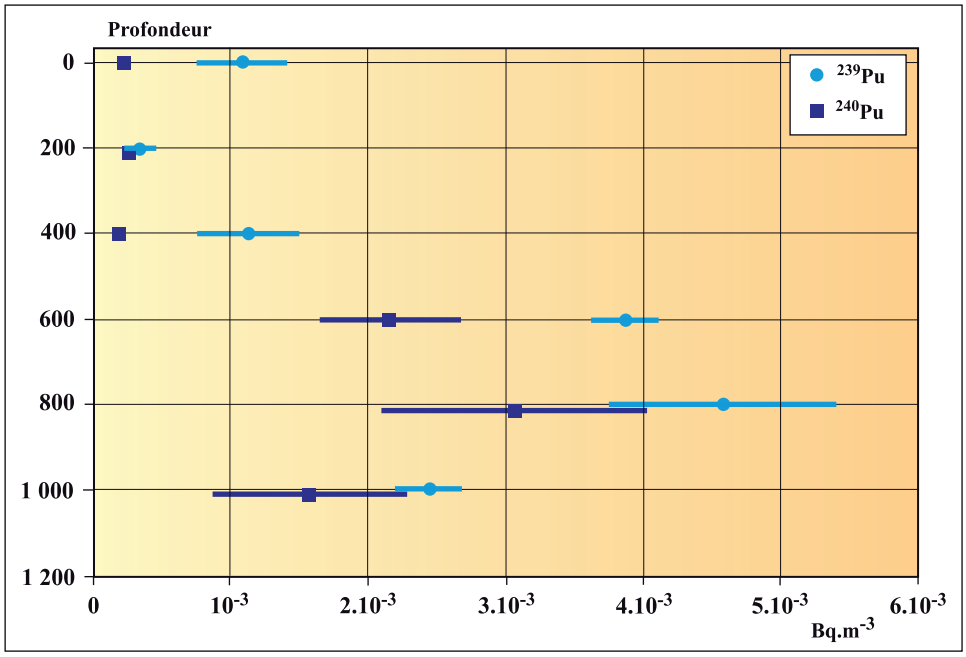


Figure D.6. : Activité ^{239}Pu et ^{240}Pu dans les eaux océaniques entre Mururoa et Fangataufa.

Le tableau D.4. donne les valeurs du rapport ^{240}Pu / ^{239}Pu dans les eaux océaniques prélevées entre Mururoa et Fangataufa en 2005.

Lieux	Profondeur (m)	^{240}Pu / ^{239}Pu
Entre MURUROA et FANGATAUFA	Subsurface	non calculé
	200	non calculé
	400	non calculé
	600	0,56 ± 0,14
	800	0,68 ± 0,28
	1 000	0,64 ± 0,30

Tableau D.4. : Rapport ^{240}Pu / ^{239}Pu dans les eaux océaniques entre Mururoa et Fangataufa en 2005.

Annexe E

LA SURVEILLANCE DU PLANCTON OCÉANIQUE

Annexe E
LE PLANCTON OCEANIQUE

E.1. – LE PLANCTON OCEANIQUE

Le plancton des eaux océaniques ne se différencie pas selon qu'il soit pêché sur les flancs des atolls ou à la limite des 12 milles nautiques des côtes.

E.1.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE

Les modes de prélèvement et de mesure sont les mêmes que pour le plancton des flancs d'atoll.

L'édition 2003 du guide de surveillance radiologique des atolls de Mururoa et de Fangataufa indique qu'un seul prélèvement sera réalisé dans la zone où sont effectués les prélèvements d'eaux océaniques tous les quatre ans.

Les mesures consistent en une spectrométrie gamma et un dosage des isotopes du plutonium. La recherche du strontium 90 ne sera effectuée que si la spectrométrie gamma met en évidence la présence du césium 137.

Prélèvement de plancton océanique

E.1.2. – LES RESULTATS

Le tableau E.1. et la figure E.1. présentent les résultats des mesures de la radioactivité dans le plancton océanique prélevé entre Mururoa et Fangataufa dans la limite des 12 milles nautiques en 2005.

Lieu	Date	^{40}K	^{137}Cs	^{60}Co	^{238}Pu	^{239}Pu + ^{240}Pu
Entre MURUROA et FANGATAUFA	27.03.05	25,1 ± 1,6	≤ 0,024	≤ 0,032	0,00048 ± 0,00020	0,00064 ± 0,00021

Tableau E.1. - Activité (Bq.kg^{-1} frais) du plancton océanique prélevé entre Mururoa et Fangataufa dans la limite des 12 milles nautiques en 2005.

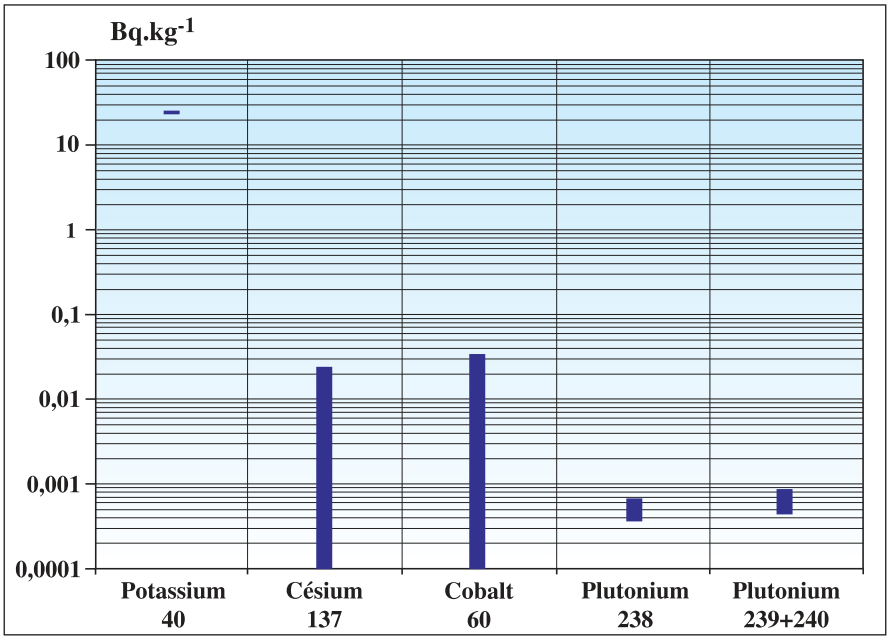


Figure E.1. - Activité du plancton océanique prélevé entre Mururoa et Fangataufa dans la limite des 12 milles nautiques en 2005.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

La valeur moyenne en potassium 40 est de 27,6 ± 2,3 Bq.kg^{-1} frais. Elle est calculée sur les 33 échantillons prélevés depuis 1994 dans la limite des 12 milles nautiques des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [7,4 ; 47,9] traduit la dispersion des résultats.

La valeur 2005 (25,1 Bq.kg-1) est comprise dans cet intervalle (Fig. E.2.).

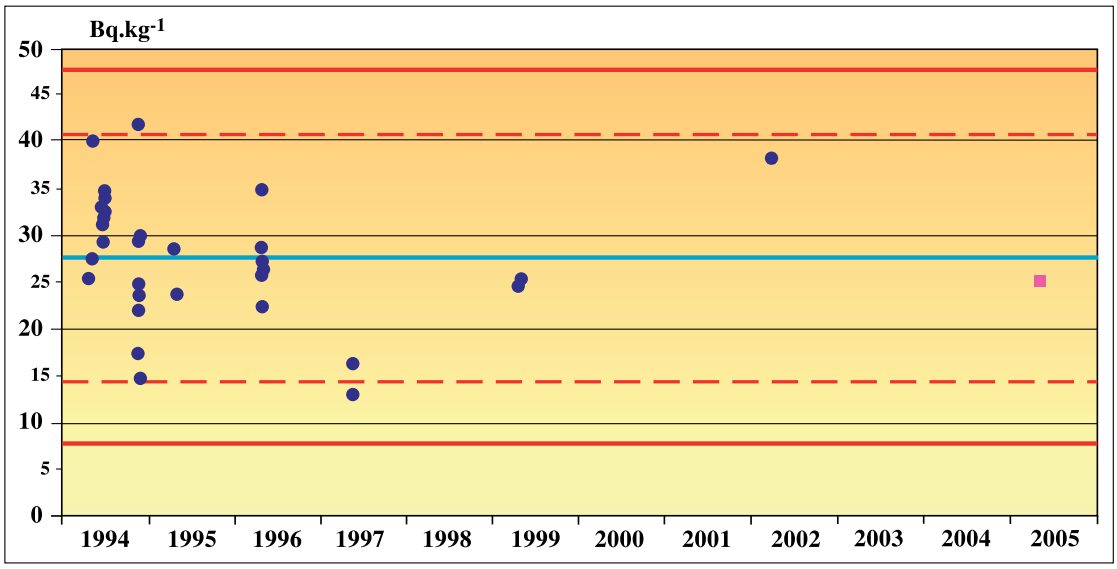


Figure E.2. - Activité du potassium 40 dans le plancton océanique depuis 1994.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137 et cobalt 60

Comme les années précédentes, les activités en césium 137 et en cobalt 60 sont inférieures aux limites de détection.

Strontium 90

La valeur en césium 137 étant inférieure à la limite de détection des appareils de mesure, la recherche du strontium 90 n'a pas été effectuée en 2005

Plutonium

Depuis 1994, 30 échantillons ont été prélevés.

Plutonium 238

À l'aide de la période de 87,74 ans du plutonium 238, les mesures sur les échantillons prélevés depuis 1994 ont été ramenées au 01/05/05.

La figure E.3. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,005 $Bq.kg^{-1}$.

L'intervalle de probabilité 95 % [0,0006 ; 0,38] traduit la dispersion des résultats.

La valeur 2005 (0,00048) est comprise dans l'intervalle de probabilité 99,7 %.

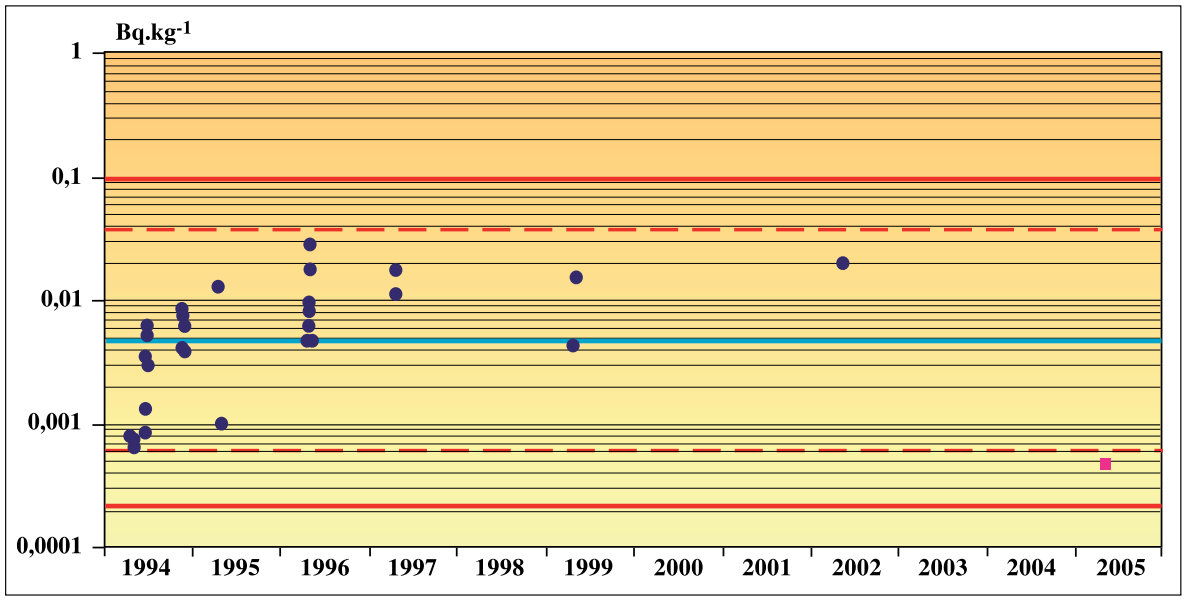


Figure E.3. - Activité du plutonium 238 dans le plancton océanique depuis 1994.

Plutonium 239 + Plutonium 240

La moyenne géométrique est de 0,015 $Bq.kg^{-1}$. L'intervalle de probabilité 95 % [0,001 ; 0,14] traduit la dispersion des résultats.

La valeur 2005 (0,00064) est comprise dans l'intervalle de probabilité 99,7 % (Fig. E.4.).

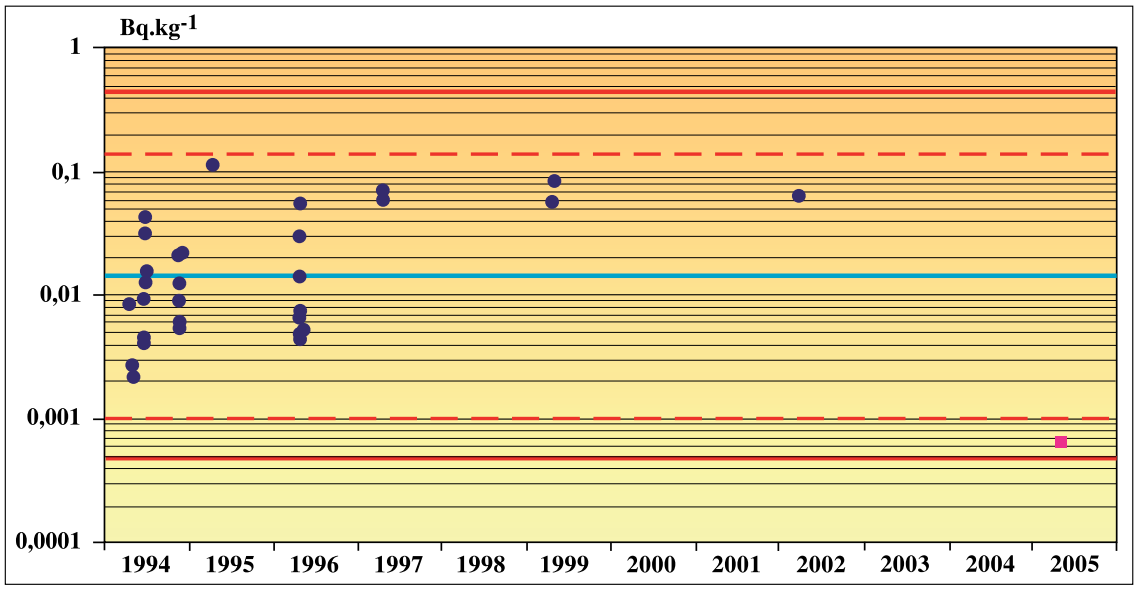


Figure E.4. - Activité du plutonium 239 + plutonium 240 dans le plancton océanique depuis 1994.

Rapport Plutonium 238 / Plutonium 239 + Plutonium 240

Sur les 17 rapports calculés depuis 1986, la moyenne géométrique est 0,19. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,05 ; 0,77] traduit la dispersion des résultats.

La valeur de 0,75 ± 0,4 est comprise dans cet intervalle (Fig. E.5.).

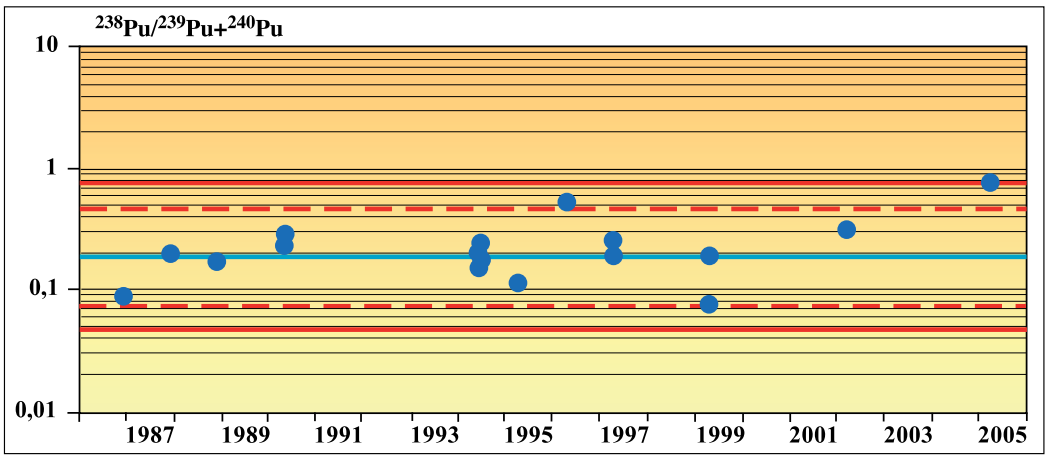


Figure E.5. : Rapport en activité ^{238}Pu / ^{239}Pu + ^{240}Pu dans le plancton océanique depuis 1986.