

**MINISTERE DE LA DEFENSE  
ET DES ANCIENS COMBATTANTS**

**DIRECTION DES OPERATIONS**

**DIRECTION GENERALE  
DE L'ARMEMENT**

**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 2010**



**MINISTERE DE LA DEFENSE**

**DIRECTION GENERALE  
DE L'ARMEMENT**

**DIRECTION DES OPERATIONS**

**UNITE DE MANAGEMENT NUCLEAIRE  
BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE**

**TOME I**

**SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE**

**DES ATOLLS**

**DE MURUROA et DE FANGATAUFA**

**Année 2010**

**DEPARTEMENT DE SUIVI DES CENTRE D'EXPERIMENTATIONS NUCLEAIRES**  
16 bis avenue Prieur de la Côte d'Or – 94114 ARCUEIL cedex

**☎ : 01.79.86.37.50**

**FAX : 01.79.86.37.60**

**N° 88/DEF/DGA/DO/UM NBC/SCEN du 29 mars 2012**



# SOMMAIRE

<b>PREAMBULE</b>	<b>3</b>
<b>Chapitre I LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU PERSONNEL</b>	<b>19</b>
I.1. - L'EXPOSITION EXTERNE	19
I.1.1. - LA METHODE UTILISEE	19
I.1.2. - LES RESULTATS	20
I.2. - LA SURVEILLANCE ATMOSPHERIQUE	20
I.2.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	20
I.2.2. - LES RESULTATS	21
I.3. - L'EAU DU ROBINET EN ZONE VIE A MARTINE	29
I.4. - LE SABLE DE PLAGE DE LA ZONE VIE	29
I.4.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	30
I.4.2. - LES RESULTATS	30
<b>Chapitre II LA SURVEILLANCE DU MILIEU TERRESTRE</b>	<b>35</b>
II.1. - LES SOLS	35
II.2. - LA NOIX DE COCO	35
II.2.1. - L'EAU DE COCO	36
II.2.2. - LE COPRAH OU PULPE DE NOIX DE COCO	38
<b>Chapitre III LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES</b>	<b>41</b>
III.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	41
III.2. - LES RESULTATS	45
III.2.1. - L'atoll de MURUROA	45
III.2.2. - L'atoll de FANGATAUFA	53
III.3. - RADIOACTIVITE DES EAUX SOUTERRAINES ET SISMICITE DE LA ZONE NORD	56
III.3.1 - Rappel sur la surveillance géomécanique de la zone Nord de l'atoll de Mururoa.	56
III.3.2 - Résultats	57
<b>Chapitre IV LA SURVEILLANCE DU LAGON</b>	<b>59</b>
IV.1. - LES EAUX DE LAGON	59
IV.1.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	59
IV.1.2. - LES RESULTATS	60
IV.2. - LES SEDIMENTS	73
IV.2.1. - LES MODES DE PRELEVEMENTS ET DE MESURE	74
IV.2.2. - LES RESULTATS	75
IV.3. - LE PLANCTON	92
IV.3.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	92
IV.3.2. - LA RADIOACTIVITE DU PLANCTON	93
IV.4. - LE TROCA	99
IV.4.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	99
IV.4.2. - LA RADIOACTIVITE DU TROCA	99
IV.5. - LE POISSON CHIRURGIEN	106
IV.5.1. - LES MODES DE PRELEVEMENTS ET DE MESURE	106
IV.5.2. - LA RADIOACTIVITE DU CHIRURGIEN	107
IV.6. - LE MEROU	114
IV.6.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	114
IV.6.2. - LA RADIOACTIVITE DU MEROU	115

<b>Chapitre V SURVEILLANCE DU PLATIER EXTERNE ET DES FLANCS D'ATOLL</b>	<b>117</b>
V.1. - LE TURBO SOYEUX	117
V.1.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	117
V.1.2. - LA RADIOACTIVITE DU TURBO	117
V.2. - LES EAUX DES FLANCS D'ATOLL	123
V.2.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	123
V.2.2. - LES RESULTATS	125
V.3. - LE PLANCTON OCEANIQUE DES FLANCS D'ATOLL	126
V.3.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	126
V.3.2. - LA RADIOACTIVITE DU PLANCTON OCEANIQUE DES FLANCS D'ATOLL	127
V.4. - LES CREVETTES DE PROFONDEUR	131
V.4.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	131
V.4.2. - LA RADIOACTIVITE DES CREVETTES DE PROFONDEUR	132
V.5. - LES POISSONS PELAGIQUES COTIERS	134
V.5.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	134
V.5.2. - LA RADIOACTIVITE DE LA GYMNOSARDE	135
<b>Chapitre VI LA SURVEILLANCE DU MILIEU OCEANIQUE</b>	<b>137</b>
VI.1. - LES EAUX OCEANIQUES	137
VI.2. - LE PLANCTON OCEANIQUE	137
VI.3. - LES POISSONS PELAGIQUES HAUTURIERS	137
VI.3.1. - LES MODES DE PRELEVEMENT ET DE MESURE	137
VI.3.2. - LA RADIOACTIVITE DES POISSONS PELAGIQUES HAUTURIERS	138
<b>CONCLUSION</b>	<b>141</b>
Annexe A	147
Annexe B	173
Annexe C	181
Annexe D	187

## 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 interinsulaire...).

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 le contenu a été approuvé en avril 2010 par la Commission de Sûreté pour la Surveillance des anciens Sites d'expérimentation nucléaire (C3S), présidé par le Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense (DSND).

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.

*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. Un document de synthèse 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<sup>1</sup>», provenant des essais aériens de sécurité,
- des traces de césium 137 et de plutonium 239 en zone Kilo<sup>2</sup>, 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<sup>ème</sup> 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 particulière 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, certains 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

---

<sup>1</sup> Voir figure 2.

<sup>2</sup> Voir figure 3.

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  $\text{CaSO}_4$ , 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).

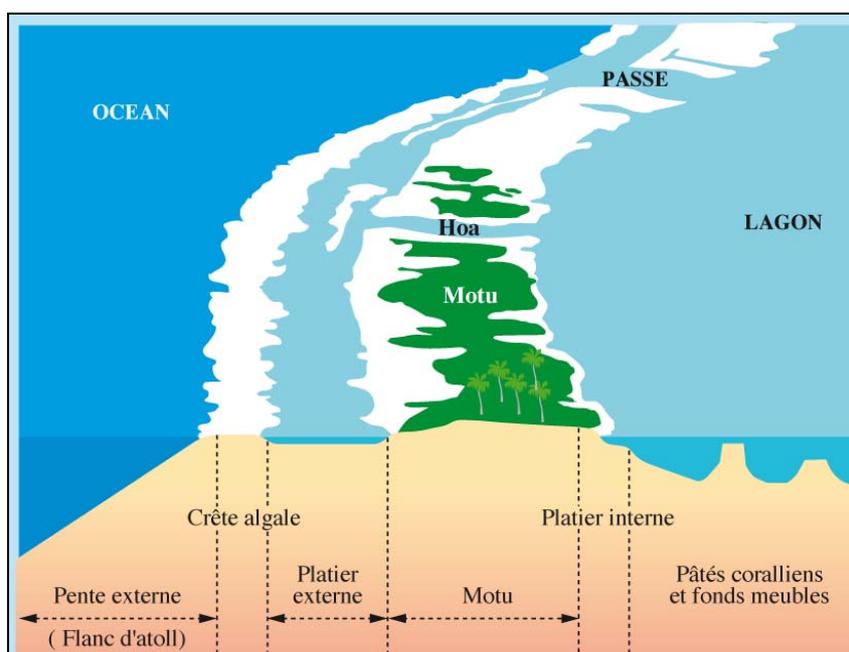


Figure 1 : Coupe schématique d'un atoll.

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	PRELEVEMENT A MURUROA	PRELEVEMENT A FANGATAUFA
<b><i>SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT DU PERSONNEL</i></b>				
DOSIMETRES FLi AEROSOLS (CASA 110)	1 filtre/appareil	1/3 mois 1/jour/appareil	6 points 2 appareils/1 point	
EAU DU ROBINET	2 x 30 l + 2 x 50ml	1/an	1 point	
SABLE DE PLAGE	1 kg	1/an	2 points	
<b><i>MILIEU TERRESTRE</i></b>				
SOLS	1 kg	1/4 ans	8 points	6 points
EAU DE COCO	10 l	1/an	4 zones	1 zone
COPRAH	4 kg (3,5 kg)*	1/an	4 zones	1 zone
<b><i>EAUX SOUTERRAINES</i></b>				
EAUX SOUTERRAINES	10 l (1 l) + 2x50 ml	1/an	13 points lagon 4 points à terre	4 points lagon
<b><i>LAGON</i></b>				
EAUX DE LAGON	2 x 30 l + 2 x 50ml	1/ an	9 points	5 points
SEDIMENTS	1 kg	1/an	9 points	5 points
PLANCTON	500 g (400 g)*	1/an	toutes zones	toutes zones
TROCA chair	2 kg (1,5 kg)*	1/an	2 zones/4	1 zone
CHIRURGIEN éviscéré	3 kg (2,5 kg)*	1/an	2 zones/4	1 zone
MEROU chair	3 kg (2,5 kg)*	1/an	2 zones/4	1 zone
<b><i>MILIEU OCEANIQUE PROCHE, PLATIER ET PENTE EXTERNE</i></b>				
TURBO chair	2 kg	1/an	2 zones/4	1 zone
EAUX FLANCS D'ATOLL (3 cotes)	2 x 50 ml	1/an	1 secteur/4 (6 radiales)	1 secteur (4 radiales)
PLANCTON FLANCS D'ATOLL	500 g (400 g)*	1/an	1 secteur/4	1 secteur
CREVETTES PROFONDES	3 kg (2,5 kg)*	1/an	1 secteur	-
POISSONS PELAGIQUES COTIERS chair	3 kg (2,5 kg)*	1/an	1	1
<b><i>MILIEU OCEANIQUE DANS LA LIMITE DES 12 MILLES NAUTIQUES</i></b>				
EAUX OCEANIQUES (6 cotes)	2 x 30 l + 2 x 50 ml	1/4 ans		1 point
PLANCTON	500 g (400 g)*	1/4 ans		1 point
POISSONS PELAGIQUES HAUTURIERS chair	3 kg (2,5 kg)*	1/an		2

\* (masse minimale à prélever)

**Tableau 1 : Masse ou volume des échantillons**



La zone des flancs d'atoll (dans la limite de 600 m des côtes) a été divisée en quatre parties pour Mururoa (secteur 1, secteur 2, secteur 3 et secteur 4), celle de Fangataufa constitue une seule zone.

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

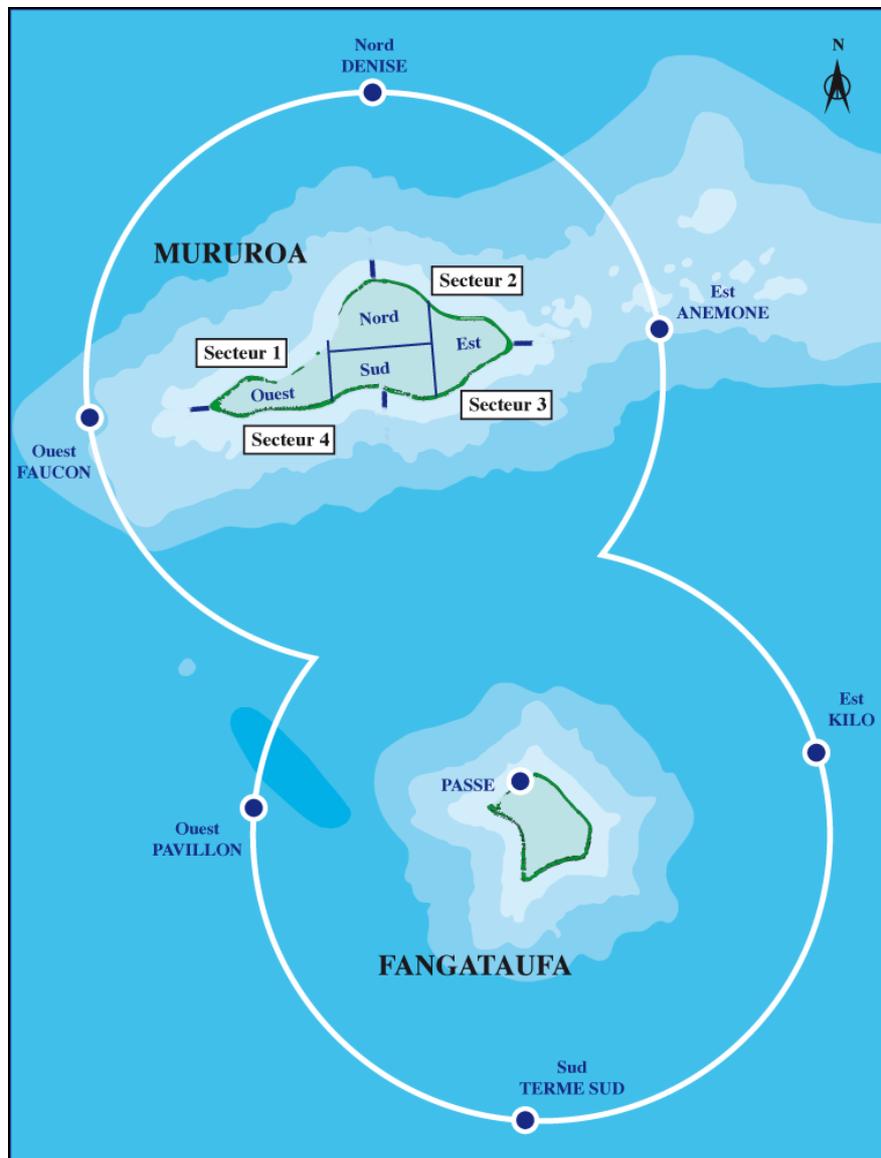


Figure 4 : Carte des zones océaniques des 12 nautiques autour de Mururoa et Fangataufa.

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 2.

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

\* une mesure à une côte déterminée par zone (cf. guide)

\*\* mesure réalisée à l'aide de son descendant le <sup>214</sup>Pb

Tableau 2 : 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 3 présente les unités utilisées dans le rapport en fonction du type d'échantillon.

AÉROSOLS	Bq.m <sup>-3</sup>
EAUX	Bq.m <sup>-3</sup>
SÉDIMENTS & SOLS	Bq.kg <sup>-1</sup> *
Prélèvements BIOLOGIQUES	Bq.kg <sup>-1</sup> ** ou Bq.l <sup>-1</sup>

\* masse de l'échantillon mesurée après séchage

\*\* masse de l'échantillon frais

Tableau 3 : Unités utilisées.

Depuis 2002, le laboratoire fournit les résultats des analyses effectuées sur les différents prélèvements d'eaux en Bq.kg<sup>-1</sup>. Afin de suivre l'évolution de l'activité des eaux, les résultats sont toujours présentés en Bq.m<sup>-3</sup>.

Pour faire la conversion, la masse volumique de l'eau de mer a été arbitrairement prise, égale à 1 000 kg.m<sup>-3</sup>.

## 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 - ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

### 81. - 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  $^{137}\text{Cs}$  dans l'eau de coco, nous estimons la période apparente de décroissance (figure 5).

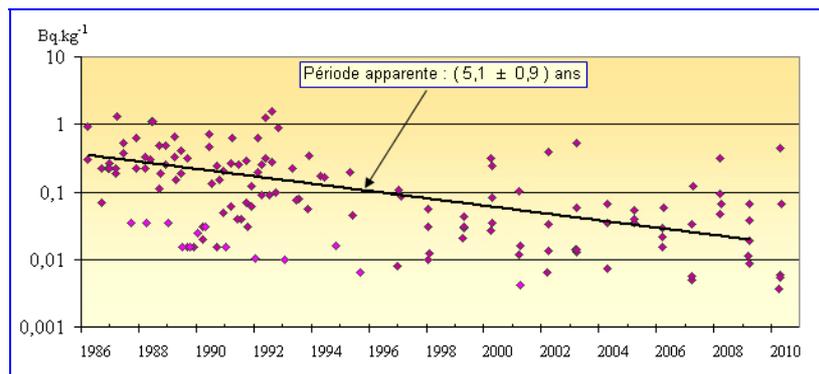


Figure 5 : Décroissance du  $^{137}\text{Cs}$  dans l'eau de coco.

Afin de s'affranchir de cette décroissance, les activités massiques sont ramenées à la date de référence de l'année : 1er mai de l'année, des derniers prélèvements en utilisant la période apparente (figure 6).

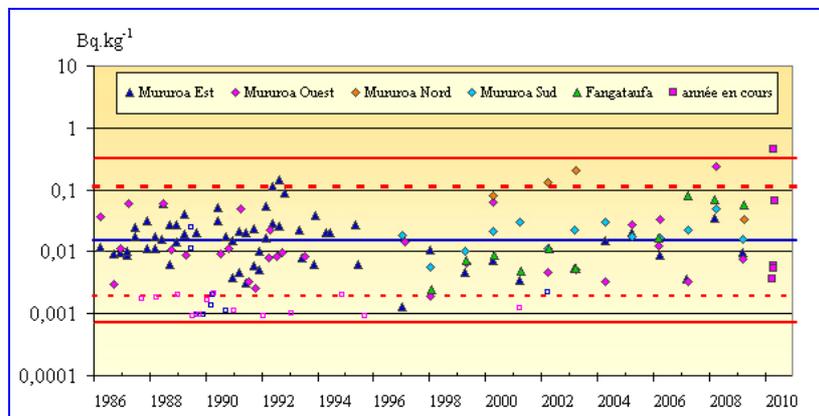


Figure 6 : Activité du  $^{137}\text{Cs}$  dans l'eau de coco ramenée au 1<sup>er</sup> mai 2010.

Cette période apparente peut se décomposer en deux périodes distinctes, la période radioactive, caractéristique de l'isotope et une période dite « système » qui peut varier selon la zone de prélèvements.

$$\begin{aligned} A &= A_o \cdot \exp(-\lambda_{app} \cdot t) = A_o \cdot \exp(-\lambda_{rad} \cdot t) \cdot \exp(-\lambda_{sys} \cdot t) \\ &= A_o \cdot \exp(-(\lambda_{rad} + \lambda_{sys}) \cdot t) \end{aligned}$$

d'où :

$$\exp(-\lambda_{app} \cdot t) = \exp(-(\lambda_{rad} + \lambda_{sys}) \cdot t)$$

soit

$$\lambda_{app} = \lambda_{rad} + \lambda_{sys}$$

$$\frac{\text{Ln}(2)}{\tau_{app}} = \frac{\text{Ln}(2)}{\tau_{rad}} + \frac{\text{Ln}(2)}{\tau_{sys}}$$

La période système est égale à :

$$\tau_{sys} = \frac{(\tau_{rad} \cdot \tau_{app})}{(\tau_{rad} - \tau_{app})}$$

Dans le cas où la période radioactive est longue, la période système et la période apparente se confondent.

## 8.2. - 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  $^{40}\text{K}$  dans l'eau de coco (figure 7), soit à une loi log-normale comme le  $^{137}\text{Cs}$  dans l'eau de coco (figure 8) en construisant l'histogramme de répartition des valeurs par classe de radioactivité.

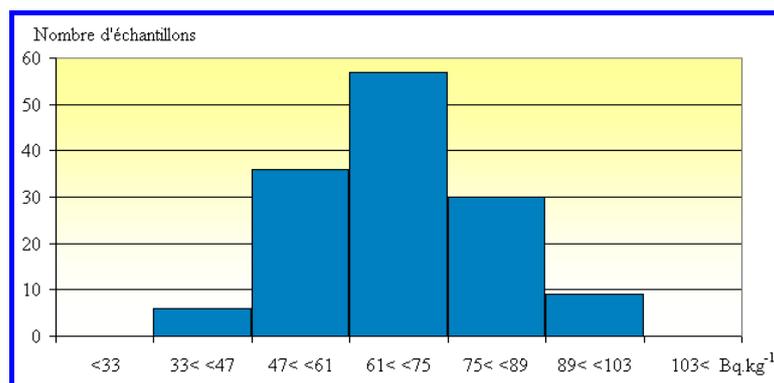
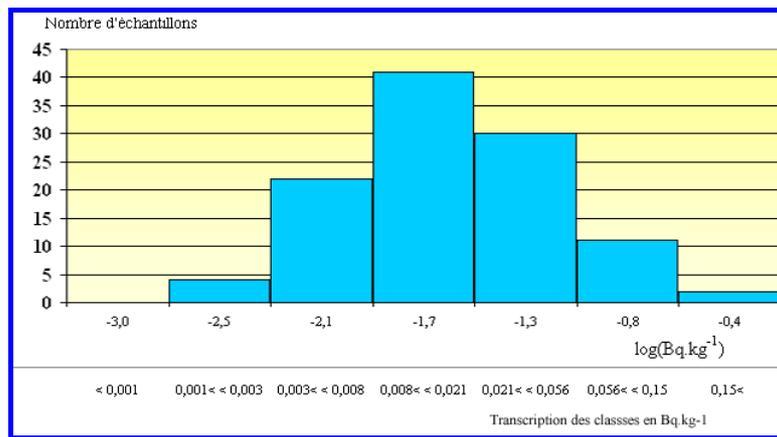


Figure 7 : Répartition de type loi normale de l'activité massique du  $^{40}\text{K}$  dans les prélèvements d'eau de coco.



**Figure 8 : Répartition de type loi log-normale de l'activité massique du <sup>137</sup>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  $\sigma_x$  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  
 $x_i$  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  $\bar{y}$  et  $\sigma_y$  selon les formules suivantes :

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

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

### 8.3. - 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  $\pm 2 \sigma$ ).

### 8.4. - INCERTITUDE SUR LA PERIODE APPARENTE

La pente  $b$  de la droite de régression est :

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

$y$  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  $S_b^2$  :

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

où :  $y_i = L_n x_i$

$t_i$  est le temps

et  $n$  le nombre d'échantillons

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

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

$$b \pm d \cdot S_b$$

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

L'incertitude sur la pente s'écrit donc :

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

### 8.5. - INCERTITUDE SUR UN RAPPORT ISOTOPIQUE

Soit deux résultats :

$$A \pm a \quad \text{et} \quad B \pm b$$

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

$$RI \pm ri$$

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

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

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  $A / B$ .

### 8.6. - 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.

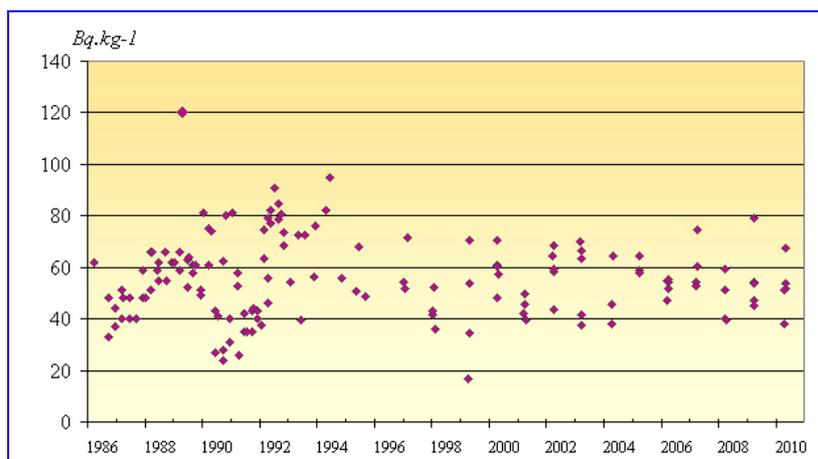
Les valeurs à l'extérieur de cet intervalle sont très peu probables (probabilité inférieure à 0,003), elles sont considérées comme ne faisant pas partie de la population de référence (valeurs hors normes souvent dénommées valeurs aberrantes).

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  $^{40}\text{K}$  dans l'eau de coco (jusqu'en 2010).**

### 8.7. - RESULTATS DES ANNEES ANTERIEURES

Certains prélèvements ne sont pas réalisés soit :

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

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

Les tableaux 4 et 5 donnent, par année, les prélèvements et les mesures réalisées de 2002 à 2005 et de 2006 à 2010.

<b>Prélèvements</b>	2001	2002	2003	2004	2005						
eaux souterraines	M 16 + F 4	M 16 + F 4	M 16 + F 4	M 16	M 16						
eau du robinet zone vie											
sable de plage					M 2						
sols			M 8 + F 6								
coprah	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4	M 4						
eau de coco	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4	M 4						
eaux du lagon	M 9 + F 5	M 9 + F 5	M 9 + F 5	M 9	M 9						
sédiments du lagon	M 9 + F 5		M 9 + F 5	M 9	M 9						
plancton du lagon	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1	M 1						
chirurgiens	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4	M 2/4						
troca	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4	M 2/4						
mérours	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4	M 2/4						
eaux de flanc d'atoll	M 18 + F 12	M 18 + F 12	M 18 + F 12		M 18 + F 12						
plancton flanc d'atoll	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1		M 1 + F 1						
turbo	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4	M						
crevettes pofondes	M 1	M 1	M 1		M 1						
poissons côtiers	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1	M 1						
eaux océaniques		1			1						
plancton océanique		1			1						
poissons hauturiers	1	1	1	1	1						
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>M à Mururoa</td> <td>F à Fangataufa</td> <td colspan="2">2/4 = deux zones sur quatre</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						M à Mururoa	F à Fangataufa	2/4 = deux zones sur quatre			
M à Mururoa	F à Fangataufa	2/4 = deux zones sur quatre									
<b>Analyses réalisées</b>	2001	2002	2003	2004	2005						
eaux souterraines	HTO, Cs, Sr et Pu*	HTO, Cs, Sr et Pu*	HTO, Cs, Sr et Pu*	HTO, Cs, Sr et Pu*	HTO, Cs, Sr et Pu*						
eau du robinet zone vie											
sable de plage					γ, Pu et Sr						
sols			γ, Pu, Sr f(Cs)								
coprah	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr						
eau de coco	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr						
eaux du lagon	HTO, Cs, Sr f(Cs)	HTO, Cs, Pu et Sr	HTO, Cs, Sr f(Cs)	HTO, Cs, Pu et Sr	HTO, Cs, Sr f(Cs)						
sédiments du lagon	M + F; γ, Pu, Sr f(Cs)		F γ, Sr f(Cs)	M γ, Sr f(Cs)							
plancton du lagon	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)						
chirurgiens	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)						
trocas	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)						
mérours	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr						
eaux de flanc d'atoll	HTO	HTO	HTO		HTO						
plancton flanc d'atoll	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)		γ, Pu, Sr f(Cs)						
turbos	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr						
crevettes pofondes	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr		γ, Pu et Sr						
poissons côtiers	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr						
eaux océaniques		HTO, Cs, Pu(ICPMS) et Sr			HTO, Cs, Pu(ICPMS) et Sr						
plancton océanique		γ, Pu, Sr f(Cs)			γ, Pu, Sr f(Cs)						
poissons hauturiers	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr						
Pu* sur échantillons prédéfinis	année impaire	non réalisé	non réalisé à Fangataufa	cycle de 4 ans	non analysés						

Tableau 4 : Prélèvements et analyses réalisées de 2002 à 2005

Prélèvements	2006	2007	2008	2009	2010
eaux souterraines	M 16 +F 4	M 16 +F 4	M 16 +F 4	M 16 +F 4	M 16 +F 4
eau du robinet zone vie	M 1	M 1	M 1	M 1	M 1
sable de plage	M 2	M 1	M 1	M 2	M 2
sols	anticipé M 8 +F 6 mesuré en 2007	M 8 +F 6			
coprah	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4 + F 1
eau de coco	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4 + F 1	M 4 + F 1
eaux du lagon	M 9 + F 5	M 9 + F 5	M 9 + F 5	M 9 + F 5	M 9 + F 5
sédiments du lagon	M 9 + F 5	M 8 + F 5	M 9 + F 5	M 9 + F 5	M 9 + F 5
plancton du lagon	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1
chirurgiens	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F
troca	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F
mérus	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F
eaux de flanc d'atoll	M 18 + F 12	M 18 + F 12	M 18 + F 12	M 18 + F 12	M 18 + F 12
plancton flanc d'atoll	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1
turbo	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F	M 2/4 + F
crevettes pofondes	M 1	M 1	M 1	M 1	M 1
poissons côtiers	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1	M 1 + F 1
eaux océaniques		HAO	M (oscar, novembre)	1	
plancton océanique		HAO	M (oscar, novembre)	1	
poissons hauturiers	1	1	1	1	1
Analyses réalisées	2006	2007	2008	2009	2010
eaux souterraines	HTO, Cs, Sr et Pu*	HTO, Cs, Sr et Pu*	HTO, Cs, Sr et Pu*	HTO, Cs, Sr et Pu*	HTO, Cs, Sr et Pu*
eau du robinet zone vie	HTO, Cs et Sr	HTO, Cs, Pu et Sr	HTO, Cs, Pu et Sr	HTO, Cs, Pu et Sr	HTO, Cs, Pu et Sr
sable de plage	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr
sols		γ, Pu, Sr f(Cs)			
coprah	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr
eau de coco	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr
eaux du lagon	HTO, Cs, Pu et Sr	HTO, Cs, Sr f(Cs)	HTO, Cs, Pu et Sr	HTO, Cs, Sr f(Cs)	HTO, Cs, Pu et Sr
sédiments du lagon	M + F; γ, Pu, Sr f(Cs)		M + F; γ, Sr f(Cs)		M + F; γ, Pu, Sr f(Cs)
plancton du lagon	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)
chirurgiens	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)
trocas	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)
mérus	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr
eaux de flanc d'atoll	HTO	HTO	HTO	HTO	HTO
plancton flanc d'atoll	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)	γ, Pu, Sr f(Cs)
turbos	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr
crevettes pofondes	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr
poissons côtiers	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr
eaux océaniques				HTO, Cs, Pu(ICPMS) et Sr	
plancton océanique				γ, Pu, Sr f(Cs)	
poissons hauturiers	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr	γ, Pu et Sr
Pu* sur échantillons prédéfinis	non analysés	cycle de 4 ans			

Tableau 5 : Prélèvements et analyses réalisées de 2006 à 2010



## Chapitre I

### LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU PERSONNEL

La surveillance de l'environnement radiologique du personnel présent à Mururoa, est assurée par :

- des dosimètres implantés en 6 points de l'atoll ;
- des prélèvements journaliers d'aérosols en zone Martine ;
- des prélèvements annuels d'eau du robinet en zone Martine ;
- des prélèvements annuels de sable de la plage en zone Martine.

#### I.1. - L'EXPOSITION EXTERNE

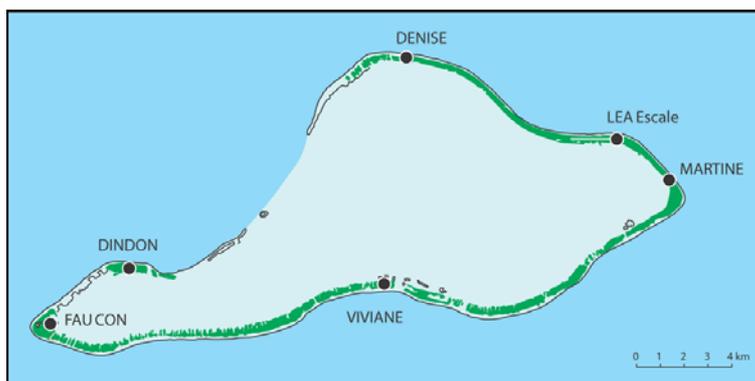
##### I.1.1. - LA METHODE UTILISEE

Les mesures sont réalisées à l'extérieur des habitations par des dosimètres équipés de pastilles de fluorure de lithium (FLi). Ces dosimètres sont relevés et lus tous les 3 mois.



**Le dosimètre en zone Martine 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

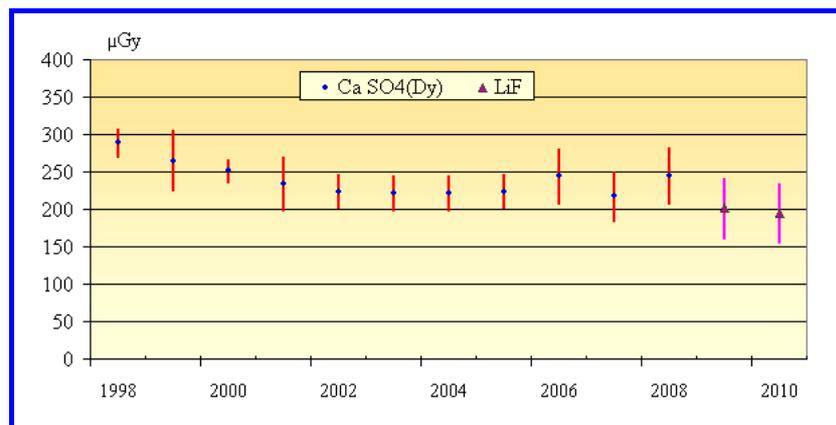
Le tableau I.1. regroupe les résultats obtenus en 2010.  
La valeur moyenne est de  $195 \pm 39 \mu\text{Gy}$ .

**Tableau I.1. : Mesures de l'exposition externe à Mururoa en 2010.**

Emplacement	Exposition externe ( $\mu\text{Gy}$ )
Denise	$184 \pm 37$
Léa escale	$228 \pm 46$
Martine	$208 \pm 42$
Viviane	$226 \pm 45$
Faucon	$154 \pm 31$
Dindon	$170 \pm 34$
Moyenne	$195 \pm 39$

A l'exception de Martine, Léa et Viviane, les autres dosimètres présentent des valeurs plus faibles.

La figure I.2. présente l'évolution de l'exposition externe. Bien que la moyenne 2010 mesurée avec les dosimètres soit plus faible que celle des autres années, elle est du même ordre de grandeur que depuis 2001.

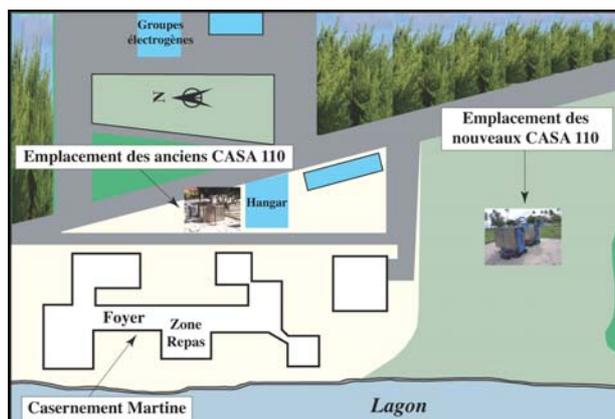


**Figure I.2. : Dose annuelle d'irradiation externe à Mururoa depuis 1988.  
(Moyenne effectuée sur les 6 dosimètres).**

## I.2. - LA SURVEILLANCE ATMOSPHERIQUE

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

Les aérosols atmosphériques 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 ( $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ). Les filtres sont changés tous les jours. Ils sont regroupés par mois et expédiés en métropole pour y être analysés. Le 1<sup>er</sup> 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 isotopes du 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 des nouveaux CASA 110 en zone Martine.**

Les filtres de l'appareil de référence font l'objet d'une mesure directe par spectrométrie  $\gamma$  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  $\alpha$ .

Les filtres de l'appareil de secours regroupés par semestre, sont mesurés par spectrométrie gamma sur un détecteur bas niveau. En cas de panne de l'un des appareils, les mesures mensuelles sont effectuées mais les mesures « bas niveau » ne sont réalisées que sur les filtres disponibles.

#### *Remarque préliminaire*

*Les filtres de couleur rose utilisés depuis des années ne sont plus commercialisés. Début 2009, le deuxième CASA (n° 14805) a été équipé des nouveaux filtres de couleur bleue. Au 1<sup>er</sup> janvier 2010, l'ensemble des appareils a été équipé avec ces filtres.*



**Appareils de prélèvement des aérosols en zone Martine (type CASA 110)**

#### **I.2.2. - LES RESULTATS**

Les volumes quotidiens sont généralement de l'ordre de 2 500 m<sup>3</sup> et les volumes mensuels de l'ordre de 72 400 m<sup>3</sup>.

Les résultats ( $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) seront examinés radionucléide par radionucléide.  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{40}\text{K}$  et  $^{210}\text{Pb}$  sont quatre radionucléides naturels qui peuvent être considérés comme des traceurs atmosphériques ( $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  pour les hautes couches et  $^{40}\text{K}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  pour les basses couches).  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  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  $^{137}\text{Cs}$  conduisent fréquemment à des résultats non significatifs ( $\leq \text{LD}$ ). Depuis 1992, afin d'améliorer les limites de détection de ces mesures, les prélèvements sont regroupés par semestre et analysés des détecteurs « bas niveau ».

## **Radioactivité d'origine naturelle**

### ***Béryllium 7***

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  $\gamma$  (il se désintègre par capture électronique).

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

**Tableau I.2. : Activité atmosphérique ( $\text{Bq.m}^{-3}$ ) en  $^7\text{Be}$  en 2010.**

janvier	$(1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$
février	$(2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$
mars	$(2,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$
avril	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$
mai	$(2,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$
juin	$(1,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$
juillet	$(2,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$
août	$(2,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$
septembre	$(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$
octobre	$(2,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$
novembre	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$
décembre	$(1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$

La valeur moyenne, calculée sur les 12 échantillons prélevés depuis début 2010 avec les CASA équipés de filtres bleus, est de  $(2,9 \pm 0,45) \text{ mBq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[1,5 ; 4,2] \text{ mBq.m}^{-3}$  traduit la dispersion des résultats. Les valeurs 2010 qui varient entre  $[1,8 \text{ et } 3,6] \text{ mBq.m}^{-3}$  sont comprises dans cet intervalle.

A titre de comparaison, la valeur moyenne, calculée sur les 45 échantillons prélevés depuis 2006 avec les CASA équipés de filtre rose, est de  $(3,7 \pm 0,19) \text{ mBq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[1,8 ; 5,6] \text{ mBq.m}^{-3}$  traduit la dispersion des résultats. Pour les anciens CASA équipés des filtres roses, la valeur moyenne calculée sur les 117 échantillons prélevés depuis 1997, est de  $(3,6 \pm 0,12) \text{ mBq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[1,7 ; 5,5] \text{ mBq.m}^{-3}$  traduit la dispersion des résultats.

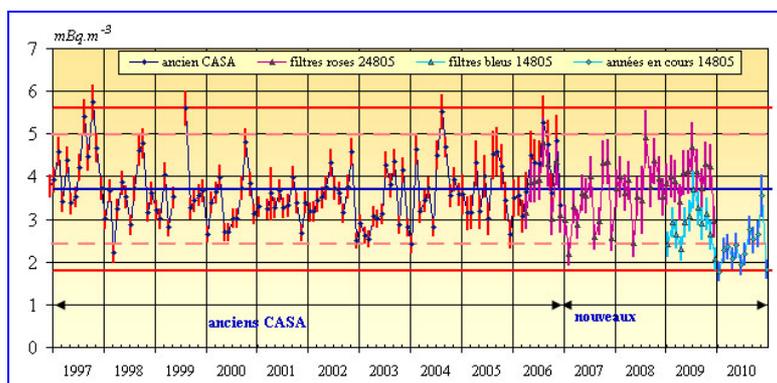
La figure I.4. présentent les activités volumiques moyennes mensuelles en béryllium collectées :

- avant 2006, sur les filtres roses équipant les anciens CASA ;
- en 2008, sur les filtres roses (CASA 24805);

- en 2009, sur les filtres roses (CASA 24805) et bleus (CASA 14805) ;
- en 2010, sur les filtres bleus (CASA 14805).

Les valeurs statistiquement incertaines (cf. Préambule) correspondent le plus souvent à l'hiver austral.

Les résultats en  $^7\text{Be}$  sur les anciens et les nouveaux CASA équipés de filtres roses, ne montrent pas de différence notable. Les résultats sur le CASA équipé de filtres bleus, sont systématiquement inférieurs résultats obtenus avec les CASA 110 équipés de filtres roses.



**Figure I.4. : Évolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle en  $^7\text{Be}$  depuis 1997.**

### Sodium 22

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

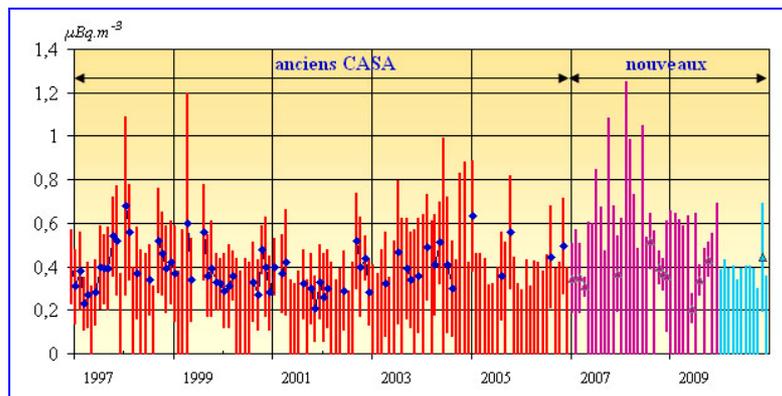
**Tableau I.3. : Activité atmosphérique ( $\text{Bq.m}^{-3}$ ) en  $^{22}\text{Na}$  en 2010.**

janvier	$\leq 3,8.10^{-7}$
février	$\leq 4,3.10^{-7}$
mars	$\leq 3,9.10^{-7}$
avril	$\leq 4.10^{-7}$
mai	$\leq 3,4.10^{-7}$
juin	$\leq 3,9.10^{-7}$
juillet	$\leq 4.10^{-7}$
août	$\leq 4.10^{-7}$
septembre	$\leq 3,9.10^{-7}$
octobre	$\leq 3.10^{-7}$
novembre	$(4,4 \pm 2,5).10^{-7}$
décembre	$\leq 3,5.10^{-7}$

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  $^{22}\text{Na}$  depuis 1997.

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



**Figure I.5. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle en  $^{22}\text{Na}$  depuis 1997.**

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

**Tableau I.4. : Activité volumique atmosphérique en  $^{22}\text{Na}$  pour 2010. (moyenne semestrielle en  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ).**

de janvier à juin	$(0,26 \pm 0,04) \cdot 10^{-6}$
de juillet à décembre	$(0,43 \pm 0,06) \cdot 10^{-6}$

L'activité en  $^{22}\text{Na}$  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 sur les deux types de filtres.

**Tableau I.5. : Activité atmosphérique ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en  $^{40}\text{K}$  en 2010.**

janvier	$(9 \pm 4,1) \cdot 10^{-6}$
février	$(9,5 \pm 4,8) \cdot 10^{-6}$
mars	$(8,5 \pm 1,8) \cdot 10^{-6}$
avril	$(7,9 \pm 3,4) \cdot 10^{-6}$
mai	$(9,4 \pm 1,9) \cdot 10^{-6}$
juin	$(8,5 \pm 1,8) \cdot 10^{-6}$
juillet	$(1,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$
août	$(7,4 \pm 1,7) \cdot 10^{-6}$
septembre	$(8,5 \pm 4,7) \cdot 10^{-6}$
octobre	$(8,7 \pm 7,8) \cdot 10^{-6}$
novembre	$(1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-5}$
décembre	$(7,8 \pm 1,8) \cdot 10^{-6}$
moyenne	$(9 \pm 0,7) \cdot 10^{-6}$

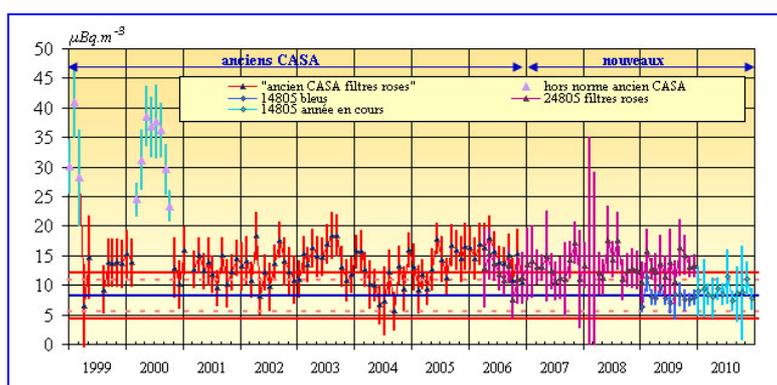
La valeur moyenne, calculée sur les 12 échantillons prélevés depuis début 2010 avec les CASA équipés de filtres bleus, est de  $(8,2 \pm 0,7) \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[4,3 ; 12,1] \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2010 qui varient entre  $[7,4 \text{ et } 11,5] \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ , sont comprises dans cet intervalle.

Les valeurs obtenues sur les différents CASA équipés de filtres roses ne montrent pas de différence. Celles obtenues sur le CASA équipé de filtre bleu sont systématiquement inférieures d'un facteur 0,6 par rapport aux valeurs obtenues avec les filtres roses.

A titre de comparaison, la moyenne calculée sur les 45 échantillons prélevés sur les CASA équipé de filtres roses, est de  $(13,1 \pm 0,6) \mu\text{Bq Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[6,7 ; 19,5] \mu\text{Bq.m}^{-3}$  traduit la dispersion des résultats. Pour les anciens CASA équipés de filtres roses, la moyenne calculée sur les 95 échantillons prélevés, est de  $(13,3 \pm 0,6) \mu\text{Bq Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[4,6 ; 22] \mu\text{Bq.m}^{-3}$  traduit la dispersion des résultats.

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



**Figure I.6. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle en  $^{40}\text{K}$  depuis janvier 1999.**

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

Le tableau I.6. présente les résultats semestriels.

**Tableau I.6. : Activité volumique atmosphérique ( $\text{Bq.m}^{-3}$ ) en  $^{40}\text{K}$  pour 2010.**

de janvier à juin	$(11,49 \pm 1,77) \cdot 10^{-6}$
de juillet à décembre	$(11,67 \pm 1,82) \cdot 10^{-6}$

L'activité en  $^{40}\text{K}$  est sans variation notable par rapport aux années précédentes.

### **Plomb 210**

Le  $^{210}\text{Pb}$  présent dans la basse atmosphère est directement produit par la désintégration du  $^{222}\text{Rn}$ . Il est rapidement piégé par les aérosols puis déposé au sol par les précipitations. Les moyennes mensuelles, obtenues cette année pour les deux types de filtres, sont données dans le tableau I.7.

La figure I.7. présente l'évolution des activités moyennes mensuelles en  $^{210}\text{Pb}$  depuis 1997.

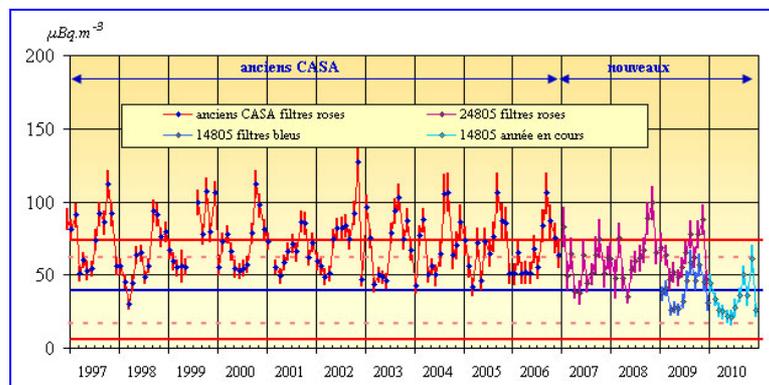
**Tableau I.7. : Activité atmosphérique ( $\text{Bq.m}^{-3}$ ) en  $^{210}\text{Pb}$  en 2010.**

janvier	$(3,2 \pm 0,4).10^{-5}$
février	$(3,5 \pm 0,7).10^{-5}$
mars	$(2,7 \pm 0,5).10^{-5}$
avril	$(2,6 \pm 0,3).10^{-5}$
mai	$(2,5 \pm 0,5).10^{-5}$
juin	$(2,2 \pm 0,3).10^{-5}$
juillet	$(3 \pm 0,4).10^{-5}$
août	$(3,9 \pm 0,5).10^{-5}$
septembre	$(5,6 \pm 0,9).10^{-5}$
octobre	$(4,2 \pm 0,8).10^{-5}$
novembre	$(5,6 \pm 1,1).10^{-5}$
décembre	$(2,4 \pm 0,3).10^{-5}$
moyenne	$(3,4 \pm 0,7).10^{-5}$

La valeur moyenne, calculée sur les 12 échantillons prélevés depuis le début 2010 sur les CASA équipés de filtres bleus, est de  $(39,6 \pm 6,5) \mu\text{Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[5,7 ; 73,5] \mu\text{Bq.m}^{-3}$  traduit la dispersion des résultats. Les valeurs 2010 qui varient entre  $[22 \text{ et } 56] \mu\text{Bq.m}^{-3}$ , sont comprises dans cet intervalle.

Les résultats obtenus sur les prélèvements réalisés à l'aide des filtres bleus, sont systématiquement inférieurs d'un facteur 0,6, par rapport à ceux prélevés sur les filtres roses.

A titre de comparaison, la valeur moyenne, calculée sur les 45 échantillons prélevés depuis 2006 sur les CASA équipés de filtres roses, est de  $(63 \pm 6) \mu\text{Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[14 ; 111] \mu\text{Bq.m}^{-3}$  traduit la dispersion des résultats. Pour les anciens CASA équipés de filtres roses, la valeur moyenne calculée sur les 120 échantillons prélevés depuis 1997, est de  $(71 \pm 3,5) \mu\text{Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[13 ; 128] \mu\text{Bq.m}^{-3}$  traduit la dispersion des résultats

**Figure I.7. : Évolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle en  $^{210}\text{Pb}$  depuis 1997.**

Les valeurs les plus élevées, 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 ou proches des limites de détection.

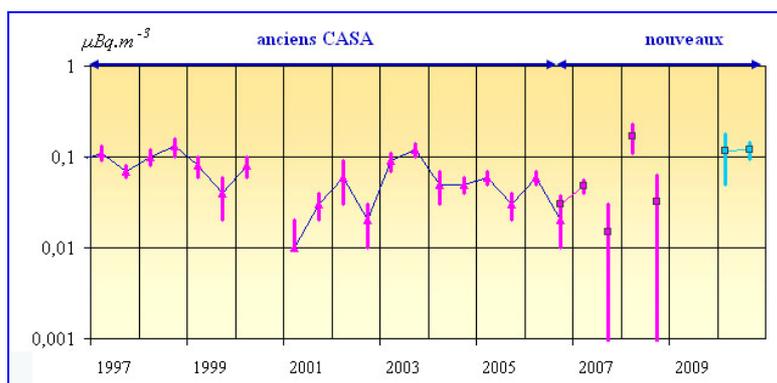
**Tableau I.8. : Activité atmosphérique ( $\text{Bq.m}^{-3}$ ) en  $^{137}\text{Cs}$  en 2010.**

janvier	$\leq 2,9 \cdot 10^{-7}$
février	$\leq 3,4 \cdot 10^{-7}$
mars	$\leq 3,1 \cdot 10^{-7}$
avril	$\leq 3,1 \cdot 10^{-7}$
mai	$\leq 2,9 \cdot 10^{-7}$
juin	$\leq 3,2 \cdot 10^{-7}$
juillet	$\leq 3,2 \cdot 10^{-7}$
août	$\leq 3,2 \cdot 10^{-7}$
septembre	$\leq 3,4 \cdot 10^{-7}$
octobre	$\leq 3,4 \cdot 10^{-7}$
novembre	$\leq 5,6 \cdot 10^{-7}$
décembre	$\leq 3,2 \cdot 10^{-7}$

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

**Tableau I.9. : Activité volumique atmosphérique ( $\text{Bq.m}^{-3}$ ) due au  $^{137}\text{Cs}$  en 2010.**

de janvier à juin	$(0,11 \pm 0,07) \cdot 10^{-6}$
de juillet à décembre	$(0,12 \pm 0,03) \cdot 10^{-6}$

**Figure I.8. : Evolution de l'activité atmosphérique moyennesemestrielle en  $^{137}\text{Cs}$  depuis 1997.**

Les valeurs 2010 sont sens changement par rapport aux autres années.

En 2009 cette mesure n'a pas été faite. Les deux appareils étant équipés respectivement de filtres roses et des filtres bleus, une inter-comparaison sur la mesure du plutonium a été réalisée cette année là.

### *Plutonium 238*

Le tableau I.10. regroupe les résultats obtenus.

**Tableau I.10. : Activité atmosphérique (Bq.m<sup>-3</sup>) en <sup>238</sup>Pu en 2010.**

janvier	$\leq 9,6.10^{-9}$
février	$\leq 3,4.10^{-9}$
mars	$\leq 2,7.10^{-9}$
avril	$\leq 2,5.10^{-9}$
mai	$\leq 2,7.10^{-9}$
juin	$\leq 2.10^{-9}$
juillet	$\leq 5,7.10^{-9}$
août	$\leq 5,7.10^{-9}$
septembre	$\leq 3,5.10^{-9}$
octobre	$\leq 5.10^{-9}$
novembre	$\leq 4.10^{-9}$
décembre	$\leq 5,4.10^{-9}$

Comme les années précédentes, l'ensemble des valeurs, relatives au <sup>238</sup>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.

**Tableau I.11. : Activité atmosphérique (Bq.m<sup>-3</sup>) en <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu en 2010.**

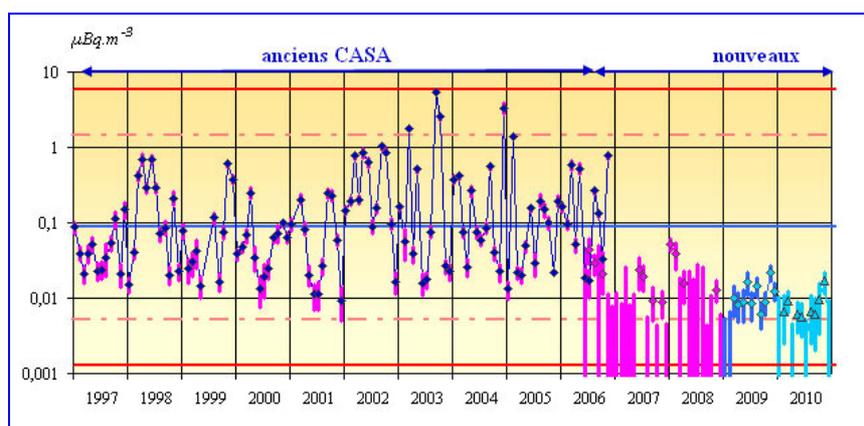
janvier	$\leq 1,1.10^{-8}$
février	$(6,7 \pm 4,2).10^{-9}$
mars	$(9,2 \pm 2,9).10^{-9}$
avril	$\leq 4,5.10^{-9}$
mai	$(6,2 \pm 2,8).10^{-9}$
juin	$(5,7 \pm 2,7).10^{-9}$
juillet	$\leq 5,2.10^{-9}$
août	$(6,6 \pm 4,1).10^{-9}$
septembre	$(6 \pm 4).10^{-9}$
octobre	$(9,7 \pm 6,3).10^{-9}$
novembre	$(1,7 \pm 0,5).10^{-8}$
décembre	$\leq 9,2.10^{-9}$

La moyenne géométrique, calculée sur les 117 échantillons prélevés sur les anciens CASA depuis 1997, est de  $0,09.10^{-6}$  Bq.m<sup>-3</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,001 ; 6].10<sup>-6</sup> Bq.m<sup>-3</sup> traduit la dispersion des résultats des mesures sur les anciens CASA.

Les valeurs vrais mesurées en 2010 sur les CASA varient entre [0,006 et 0,017].10<sup>-6</sup> Bq.m<sup>-3</sup>. Elles sont comprises dans l'intervalle de confiance des valeurs mesurées sur les anciens CASA.

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

La figure I.9. présente l'évolution des activités moyennes annuelles en <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu depuis 1997.



**Figure I.9. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle en  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  depuis 1997.**

### 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 spectrométrie  $\alpha$  ;
- de 2 x 50 millilitres pour la mesure du tritium sous forme d'eau tritiée.

Le tableau I.12. donne les résultats de 2010. Toutes les valeurs mesurées sont inférieures aux limites de détection, comme les années antérieures.

**Tableau I.12. : Radioactivité de l'eau du robinet à Martine en 2010.**

Date de prélèvement	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )
03/05/2010	≤ 1000	≤ 0,9	≤ 0,83	≤ 0,0095	≤ 0,0055

### 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.

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

- une spectrométrie  $\gamma$  sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du  $^{137}\text{Cs}$  et autres émetteurs  $\gamma$ ) ;
- une recherche et une mesure du plutonium ( $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) par spectrométrie  $\alpha$  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  $1 \text{ Bq.kg}^{-1}$  (le dosage du  $^{90}\text{Sr}$  est réalisé par comptage  $\beta$  de son descendant radioactif  $^{90}\text{Y}$  sur compteur proportionnel bas bruit).

### I.4.2. - LES RESULTATS

Les résultats des mesures de la radioactivité des principaux radionucléides naturels ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{235}\text{U}$  et  $^{228}\text{Ac}$ ) et artificiels ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  et  $^{241}\text{Am}$ ) obtenus en 2010 sont donnés. Ils sont exprimés en Becquerel par kilogramme de matière sèche ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ).

Le tableau I.13. donne les coordonnées géographiques des prélèvements effectués respectivement en 2009 et 2010, les analyses ont été réalisées en 2010.

**Tableau I.13. : Caractéristiques des prélèvements de sable réalisés en zone Anémone en 2009 et 2010.**

Date	Coordonnées
04/04/2009	21° 49,808' S 138° 47,080' W
03/05/2010	21° 49,711' S 138° 47,078' W

#### *Radioactivité d'origine naturelle*

##### *Potassium 40*

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

**Tableau I.14. : Activité massique en  $^{40}\text{K}$  ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) dans le sable de plage d'Anémone en 2009 et 2010.**

2009	6,6 $\pm$ 1,2
2010	5,9 $\pm$ 1,5

L'activité en  $^{40}\text{K}$  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.

**Tableau I.15. : Activité massique en  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$  ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ ) dans le sable de plage d'Anémone en 2009 et 2010.**

date	$^{234}\text{Th}$ ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ )	$^{226}\text{Ra}$ ( $^{214}\text{Pb}$ ) ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ )	$^{210}\text{Pb}$ ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ )
2009	26,3 ± 2,9	1,28 ± 0,21	10,9 ± 3,5
2010	31,7 ± 2,3	1,39 ± 0,3	8,1 ± 3,8

\* mesure réalisée sur son descendant  $^{214}\text{Pb}$

L'activité en  $^{234}\text{Th}$  et  $^{226}\text{Ra}$  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  $^{226}\text{Ra}$  est plus de 10 fois plus faible que celle du  $^{234}\text{Th}$ . Cette discontinuité est également constatée dans les sols et les sédiments.

### *Uranium 235*

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

**Tableau I.16. : Activité massique en uranium 235 ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ ) dans le sable de plage d'Anémone en 2009 et 2010.**

2009	1,15 ± 0,49
2010	1,14 ± 0,32

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  $^{235}\text{U}$  est environ 20 fois plus faible que celle obtenue par le  $^{234}\text{Th}$ . On peut en conclure qu'il y a un équilibre radioactif entre  $^{238}\text{U}$  et son descendant  $^{234}\text{Th}$  dans le sable puisque le rapport d'activité  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$  est de l'ordre de 20 pour l'uranium naturel.

Le tableau I.17. présente le rapport d'activité  $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$  calculé cette année.

**Tableau I.17. : Rapport en activité  $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$  dans le sable de plage d'Anémone en 2009 et 2010.**

2009	22,9 ± 10,1
2010	27,8 ± 8,1

Les rapports sont sans changement par rapport aux autres années.

### *Famille naturelle du thorium 232*

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

**Tableau I.18. : Activité massique en  $^{228}\text{Ac}$  (Bq.kg<sup>-1</sup> sec) dans le sable de plage d'Anémone en 2009 et 2010.**

2009	≤ 0,28
2010	≤ 0,31

### *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).

**Tableau I.19. : Activité massique en  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{155}\text{Eu}$  (Bq.kg<sup>-1</sup> sec) dans le sable de plage d'Anémone en 2010.**

date	$^{60}\text{Co}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	$^{125}\text{Sb}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	$^{155}\text{Eu}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)
2009	≤ 0,097	≤ 0,34	≤ 0,083	≤ 0,23
2010	≤ 0,09	≤ 0,29	≤ 0,09	≤ 0,24

#### *Plutonium 238 et Plutonium 239 + Plutonium 240*

Le tableau I.20. regroupe les résultats obtenus cette année ainsi que le rapport en activité  $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ . Les figures I.10. et I.11. présentent respectivement les activités massiques en isotopes du plutonium et les rapports  $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$

**Tableau I.20. : Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup> sec) et rapport en activité du plutonium dans le sable de plage d'Anémone en 2009 et 2010.**

date	Activité massique en Bq.kg <sup>-1</sup> sec		Rapport
	$^{238}\text{Pu}$	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	$^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$
2009	2,83 ± 0,16	18,9 ± 0,63	0,15 ± 0,01
2010	2,84 ± 0,18	15,1 ± 0,57	0,19 ± 0,01

Les valeurs en Plutonium sont du même ordre de grandeur que les valeurs des années précédentes et que celles trouvées dans les sédiments à Zanclus 25.

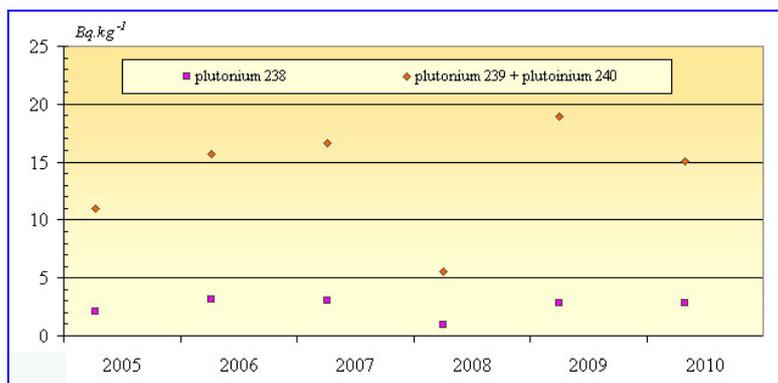


Figure I.10. : Evolution de l'activité massique du sable en plutonium depuis 2005.

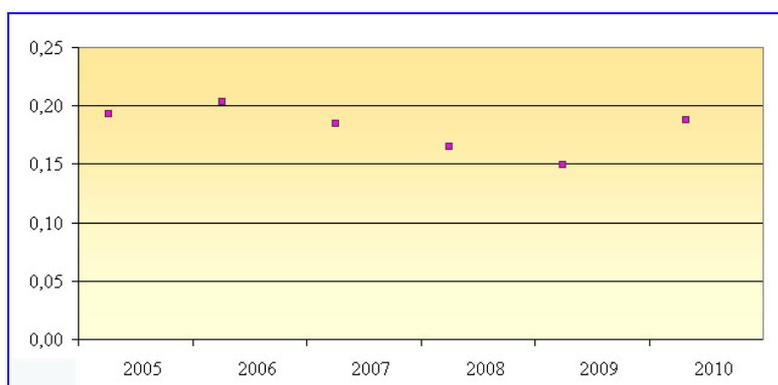


Figure I.11. : Evolution du rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) depuis 2005..

### *Américium 241*

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

**Tableau I.21. : Activité massique en  $^{241}\text{Am}$  (Bq.kg<sup>-1</sup> sec) dans le sable de plage d'Anémone en 2010.**

2009	0,19 ± 0,14
2010	0,73 ± 0,11

La valeur en Américium est légèrement plus faible les années antérieures (fig I.12), et que celle mesurée dans les sédiments du lagon prélevés à Zanclus 25.

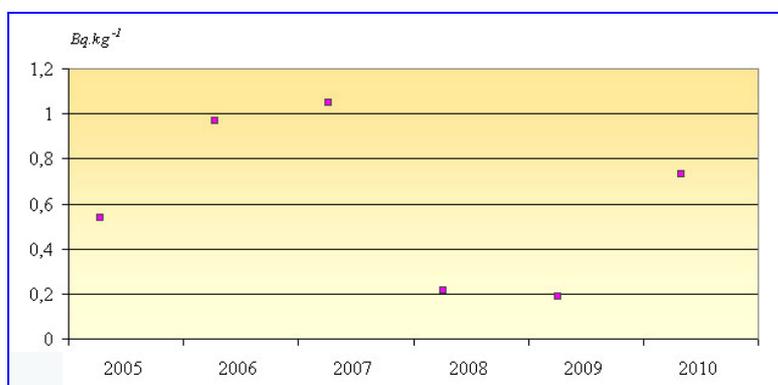


Figure I.12. : Evolution de l'activité massique du sable en  $^{241}\text{Am}$  depuis 2005.



## 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 par anticipation en 2006 (2007 année normale). Les résultats des analyses réalisées en 2007 sur ces échantillons 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. est largement consommée dans l'ensemble de la Polynésie. 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, des cocotiers ont été plantés en zone nord (Denise). A partir de 2000, des prélèvements y ont été réalisés mais pas de manière régulière, par manque de noix de coco. Cette année les prélèvements ont été réalisés dans cette zone.



Prélèvement des noix de coco avec une perche.



Prélèvement des noix de coco avec une perche.

## 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 par personne sur les atolls.

### 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.

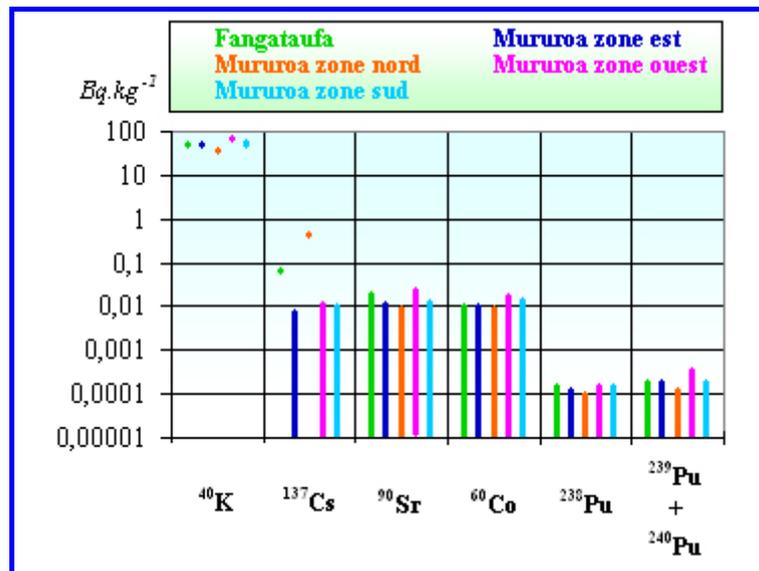
Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.

### II.2.1.2. – LA RADIOACTIVITE DE 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.

**Tableau II.1. – Activité de l’eau de coco (Bq.kg<sup>-1</sup>) en 2010.**

Lieux	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Fangataufa	13/05/2010	51,7 ± 3,8	0,068 ± 0,006	≤ 0,02	≤ 0,011	≤ 0,00016	≤ 0,00019
Mururoa zone est	19/04/2010	51,1 ± 3,7	≤ 0,0073	≤ 0,012	≤ 0,011	≤ 0,00013	≤ 0,00019
Mururoa zone nord	28/04/2010	38 ± 2,8	0,45 ± 0,04	≤ 0,0091	≤ 0,0095	≤ 0,0001	≤ 0,00013
Mururoa zone ouest	30/04/2010	67,4 ± 5	≤ 0,012	≤ 0,025	≤ 0,018	≤ 0,00016	≤ 0,00036
Mururoa zone sud	29/04/2010	53,7 ± 3,9	≤ 0,011	≤ 0,013	≤ 0,015	≤ 0,00016	≤ 0,00019



**Figure II.1. – Activité de l’eau de coco en 2010.**

## Radioactivité d'origine naturelle

### Potassium 40

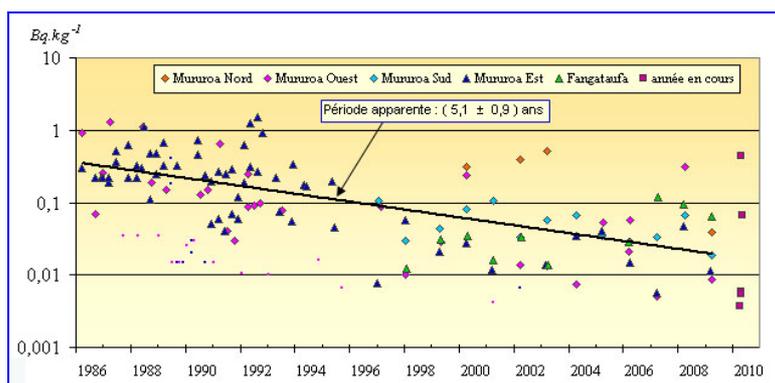
Seul le potassium 40 est systématiquement détecté dans ces échantillons. Il faut noter que la radioactivité massique en potassium 40 fluctue de façon importante suivant le stade de maturité du fruit et de son hydratation.

La valeur moyenne en potassium 40, de l'eau de coco, calculée sur 144 échantillons prélevés depuis 1986 à Mururoa et Fangataufa, est de  $55,3 \pm 2,4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Les valeurs de 2010 qui varient entre 38 et  $68 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , sont comprises dans l'intervalle de probabilité 99,7 %  $[11,4 ; 99] \text{ Bq.kg}^{-1}$  qui traduit la dispersion des valeurs.

## Radioactivité d'origine artificielle

### Césium 137

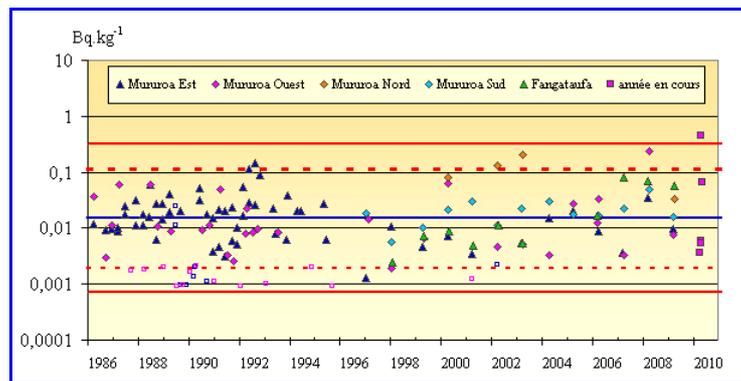
La figure II.2. présente l'évolution de l'activité, de l'eau de coco, en césium 137 depuis 1986 et permet de mettre en évidence une période apparente de 5,1 ans, bien inférieure à la période radioactive du césium 137 (30,15 ans). Les différentes zones de prélèvements sont identifiées par des symboles différents. On remarque sur cette courbe que les points de la zone nord sont au dessus des points des autres zones. Les valeurs égales ou inférieures aux limites de détection ont été retirées de la population, elles figurent néanmoins dans les figures (carrés sans couleur de fond).



**Figure II.2. - Évolution de l'activité du césium 137 de l'eau de coco depuis 1986.**

À l'aide de la période apparente globale, les valeurs mesurées sur les 118 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure II.3. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,015 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,0007 ; 0,32] \text{ Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. A l'exception des valeurs à Fangataufa et en zone Nord à Mururoa, les autres valeurs sont inférieures aux limites de détection. Les valeurs en zone nord sont systématiquement proches ou supérieures à la limite supérieure de l'intervalle de probabilité. La valeur de Fangataufa est comprise dans cet intervalle.



**Figure II.3. - Activité du césium 137 de l'eau de coco depuis 1986.  
(valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

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

Les activités de l'eau de coco, mesurées en cobalt 60, strontium 90, plutonium 238 et (plutonium 239 + plutonium 240) sont restées, comme les années précédentes, au niveau de la limite 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 usage alimentaire ou chimique. Le tourteau, coprah broyé, est utilisé pour 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.

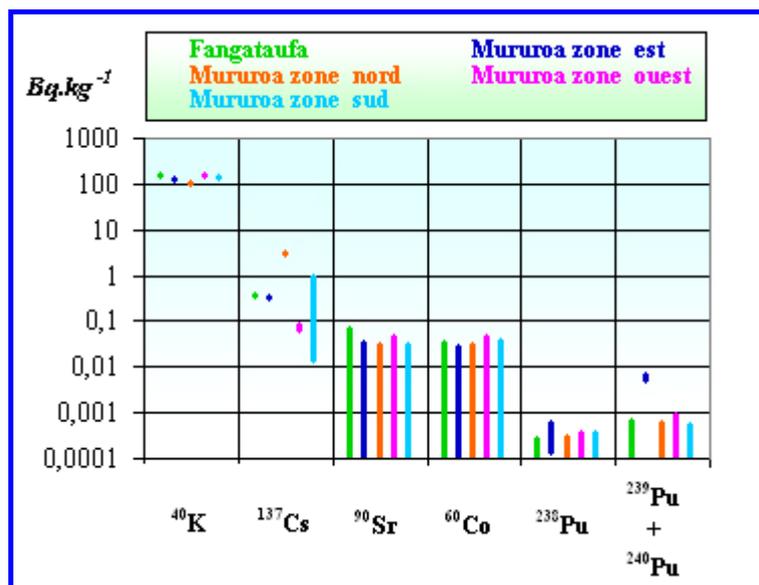
Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des opérations d'extraction chimique sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.

### **II.2.2.2. - LA RADIOACTIVITE DU COPRAH**

Le tableau II.2. et la figure II.4. regroupent l'ensemble des résultats des analyses effectuées sur le coprah.

**Tableau II.2. – Activité du coprah (Bq.kg<sup>-1</sup>) en 2010.**

Lieux	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Fangataufa	13/05/2010	154 ± 10	0,38 ± 0,03	≤ 0,071	≤ 0,035	≤ 0,00027	≤ 0,00069
Mururoa zone est	19/04/2010	123 ± 8,2	0,34 ± 0,03	≤ 0,034	≤ 0,027	0,00036 ± 0,00023	0,006 ± 0,001
Mururoa zone nord	28/04/2010	104 ± 6,9	3,01 ± 0,2	≤ 0,031	≤ 0,032	≤ 0,0003	≤ 0,00062
Mururoa zone ouest	30/04/2010	159 ± 11	0,072 ± 0,011	≤ 0,048	≤ 0,046	≤ 0,00036	≤ 0,00089
Mururoa zone sud	29/04/2010	139 ± 9,3	≤ 0,028	≤ 0,031	≤ 0,04	≤ 0,00037	≤ 0,00054

**Figure II.4. – Activité du coprah en 2010.**

### *Radioactivité d'origine naturelle*

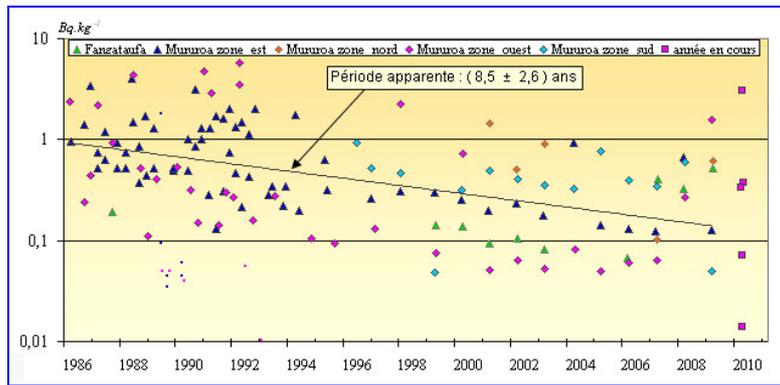
#### *Potassium 40*

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, du coprah, calculée sur 143 échantillons prélevés depuis 1986 à Mururoa et Fangataufa, est de  $116 \pm 3$  Bq.kg<sup>-1</sup>. Les valeurs de 2010 qui varient entre 104 et 159 Bq.kg<sup>-1</sup> sont comprises dans l'intervalle de probabilité 99,7 % [72 ; 160] Bq.kg<sup>-1</sup> qui traduit la dispersion des résultats.

### *Radioactivité d'origine artificielle*

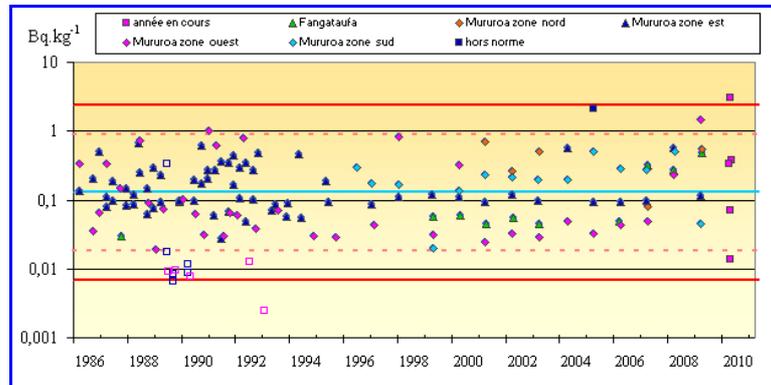
#### *Césium 137*

La figure II.5. présente l'évolution de l'activité, du coprah, en césium 137 à Mururoa et à Fangataufa depuis 1986. Elle permet de mettre en évidence une période apparente de 8,5 ans. Les points correspondants à la zone Nord sont, comme pour l'eau de coco, au dessus des points des autres zones. Les valeurs égales ou inférieures aux limites de détection ont été retirées de la population, elles figurent néanmoins dans les figures (carrés sans couleur de fond).



**Figure II.5. – Evolution de l'activité du césium 137 du coprah depuis 1986.**

À l'aide de cette période apparente globale, les valeurs mesurées sur les 140 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010. La figure II.6. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,13 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,0071 ; 2,06] traduit la dispersion des résultats. A l'exception de celle de la zone Nord ( $3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ), les autres valeurs vrais 2010 qui varient entre 0,072 et  $0,38 \text{ Bq.kg}^{-1}$  sont comprises dans cet intervalle de probabilité. La valeur en zone Sud à Mururoa est inférieure à la limite de détection.



**Figure II.6. - Activité du césium 137 du coprah depuis 1986.  
(valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

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

Les activités du coprah en 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) (cf. tableau II.2).

## 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.2 et III.3).

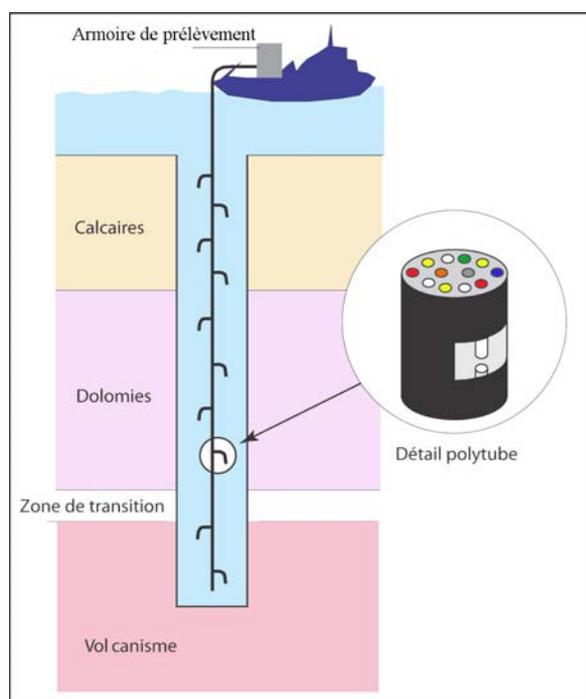


Figure III.1. - Principe de prélèvement des eaux souterraines.



Tête de puits équipée d'un polytube

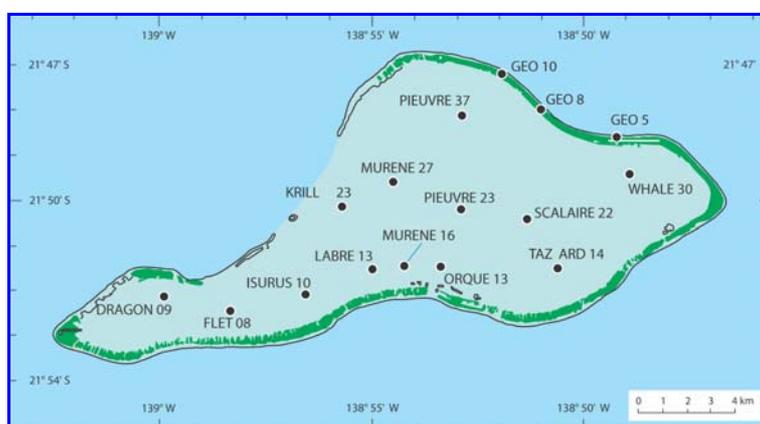
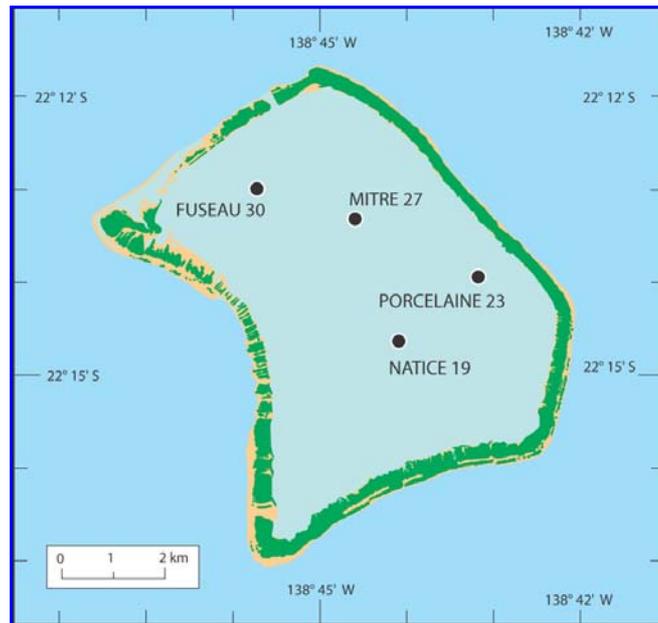


Figure III.2. - Points de prélèvement des eaux souterraines à Mururoa.



**Figure III.3. - 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.1). 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 du  $^{90}\text{Sr}$  et du  $^{137}\text{Cs}$  et des isotopes du plutonium (aux cotes prévues) ;
- 2 x 50 millilitres pour 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).

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 sont données dans les tableaux III.1. à III.5.

**Tableau III.1. - Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines en zone Nord de Mururoa en 2010.**

Observatoire	Profondeur	Date
Géo 5 B	100-102 m	22/04/2010
	149-151 m	
	185-187 m	
	215-217m	
	228-230 m	
	264-266 m	
Géo 8 B	107-110 m	24/04/2010
	158-168 m	
	209-212 m	
	274-278 m	
Géo 10 B	140-144 m	24/04/2010
	164-169 m	
	228-233 m	
	282-284 m	
	307-311 m	
Pieuvre 37	95 m	26/04/2010
	107 m	
	260 m	
	285 m	
	300 m	
Murène 27	100 m	09/05/2010
Whale 30	207 m	20/04/2010
	280 m	
	290 m	
	330 m	

**Tableau III.2. - Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines en zone Est de Mururoa en 2010.**

Observatoire	Profondeur	Date
Tazard 14	193 m	28/04/2010
	245 m	
	290 m	
Scalaire 22	100 m	04/05/2010
	135 m	
	192 m	
	245 m	
Pieuvre 23	100 m	05/05/2010
	145 m	
	175 m	

**Tableau III.3. - Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines en zone Sud de Mururoa en 2010.**

Observatoire	Profondeur	Date
Orque 13	99 m	02/04/2010
	143 m	
	178 m	
Labre 13	145 m	28/03/2010
	190 m	
	225 m	
Murène16	100 m	07/05/2010
	185 m	
	230 m	
	285 m	

**Tableau III.4. - Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines en zone Ouest de Mururoa en 2010.**

Observatoire	Profondeur	Date
Krill 23	181 m	27/04/2010
	193 m	
	220 m	
	310 m	
	330 m	
	345 m	
Isurus 10	260 m	30/04/2010
	265 m	
	275 m	
	315 m	
	330 m	
	345 m	
Flet 08	100 m	08/05/2010
	135 m	
	193 m	
	280 m	
Dragon 09	162 m	08/05/2010
	205 m	
	258 m	

**Tableau III.5. - Caractéristiques des prélèvements d'eaux souterraines de Fangataufa en 2010.**

Observatoire	Profondeur	Date
Natrice 19	200 m	16/05/2010
	235 m	
	320 m	
	340 m	
Fuseau 30	193 m	12/05/2010
	215 m	
	255 m	
	268 m	
Mitre 27	233-235 m	12/05/2010
	237-239 m	
Porcelaine 23	203 m	14/05/2010
	257 m	
	270 m	

## III.2. - LES RESULTATS

L'évolution de la radioactivité HTO des eaux souterraines, depuis 1997, est présentée pour chaque observatoire.

Les rapports ( $\text{HTO}/^{90}\text{Sr}$ ) et ( $\text{HTO}/^{137}\text{Cs}$ ) 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 et 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.

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

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

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

Tableau III.6. - Activité des eaux souterraines de la zone Nord de Mururoa en 2010.

	Profondeur (m)	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	Rapport HTO / Sr	Rapport HTO / Cs
Géo 5 B	100-102 m	(4,3 ± 0,4) .10 <sup>-3</sup>	5,06 ± 0,87	4 ± 0,93	(8,5 ± 1,66) .10 <sup>-2</sup>	(1,08 ± 0,27) .10 <sup>-3</sup>
	149-151 m	(4,5 ± 0,4) .10 <sup>-3</sup>	4,81 ± 0,86	≤ 2,9	(9,36 ± 1,87) .10 <sup>-2</sup>	non calculé
	185-187 m	(4,6 ± 0,4) .10 <sup>-3</sup>	6,1 ± 1	3,86 ± 0,96	(7,54 ± 1,4) .10 <sup>-2</sup>	(1,19 ± 0,31) .10 <sup>-3</sup>
	215-217m	(4,3 ± 0,4) .10 <sup>-3</sup>	6,04 ± 0,97	3,29 ± 0,8	(7,12 ± 1,32) .10 <sup>-2</sup>	(1,31 ± 0,34) .10 <sup>-3</sup>
	228-230 m	(4,3 ± 0,4) .10 <sup>-3</sup>	6 ± 1	3,01 ± 0,84	(7,17 ± 1,37) .10 <sup>-2</sup>	(1,43 ± 0,42) .10 <sup>-3</sup>
	264-266 m	(4,4 ± 0,4) .10 <sup>-3</sup>	5,39 ± 0,9	4 ± 1	(8,16 ± 1,55) .10 <sup>-2</sup>	(1,1 ± 0,29) .10 <sup>-3</sup>
Géo 8 B	107-110 m	(2,37 ± 0,12) .10 <sup>-5</sup>	(3,78 ± 0,48) .10 <sup>-2</sup>	(2,46 ± 0,37) .10 <sup>-2</sup>	(6,27 ± 0,86) .10 <sup>-2</sup>	(9,63 ± 1,53) .10 <sup>-2</sup>
	158-168 m	(2,99 ± 0,16) .10 <sup>-5</sup>	(5 ± 0,64) .10 <sup>-2</sup>	(3,43 ± 0,62) .10 <sup>-2</sup>	(5,98 ± 0,83) .10 <sup>-2</sup>	(8,72 ± 1,64) .10 <sup>-2</sup>
	209-212 m	(3,74 ± 0,19) .10 <sup>-5</sup>	(6,49 ± 0,82) .10 <sup>-2</sup>	(3,8 ± 0,47) .10 <sup>-2</sup>	(5,76 ± 0,78) .10 <sup>-2</sup>	(9,84 ± 1,32) .10 <sup>-2</sup>
	274-278 m	(7,43 ± 0,38) .10 <sup>-5</sup>	(1,03 ± 0,13) .10 <sup>-3</sup>	(5,27 ± 0,79) .10 <sup>-2</sup>	(7,21 ± 0,98) .10 <sup>-2</sup>	(1,41 ± 0,22) .10 <sup>-3</sup>
Géo 10 B	140-144 m	(2,8 ± 0,14) .10 <sup>-6</sup>	(8 ± 1) .10 <sup>-3</sup>	(3,7 ± 0,45) .10 <sup>-3</sup>	(3,5 ± 0,47) .10 <sup>-2</sup>	(7,57 ± 1) .10 <sup>-2</sup>
	164-169 m	(3,1 ± 0,16) .10 <sup>-6</sup>	(8,3 ± 1) .10 <sup>-3</sup>	(4,83 ± 0,45) .10 <sup>-3</sup>	(3,73 ± 0,49) .10 <sup>-2</sup>	(6,42 ± 0,68) .10 <sup>-2</sup>
	228-233 m	(3,43 ± 0,18) .10 <sup>-6</sup>	(1 ± 0,12) .10 <sup>-4</sup>	(4,82 ± 0,43) .10 <sup>-3</sup>	(3,43 ± 0,45) .10 <sup>-2</sup>	(7,12 ± 0,74) .10 <sup>-2</sup>
	282-284 m	(3,19 ± 0,16) .10 <sup>-6</sup>	(1,08 ± 0,13) .10 <sup>-4</sup>	(5,49 ± 0,44) .10 <sup>-3</sup>	(2,95 ± 0,39) .10 <sup>-2</sup>	(5,81 ± 0,55) .10 <sup>-2</sup>
	307-311 m	(4,57 ± 0,23) .10 <sup>-6</sup>	(1,66 ± 0,21) .10 <sup>-4</sup>	(7,37 ± 0,52) .10 <sup>-3</sup>	(2,75 ± 0,37) .10 <sup>-2</sup>	(6,2 ± 0,54) .10 <sup>-2</sup>
Pieuvre 37	95 m	≤ 1 . 10 <sup>-3</sup>	≤ 1,1	≤ 1,3	non calculé	non calculé
	107 m	≤ 1 . 10 <sup>-3</sup>	≤ 1	≤ 2,2	non calculé	non calculé
	260 m	(1,93 ± 0,1) .10 <sup>-6</sup>	(3,84 ± 0,48) .10 <sup>-3</sup>	(3,71 ± 0,41) .10 <sup>-3</sup>	(5,03 ± 0,68) .10 <sup>-2</sup>	(5,2 ± 0,63) .10 <sup>-2</sup>
	285 m	(2,88 ± 0,15) .10 <sup>-6</sup>	(6,2 ± 0,77) .10 <sup>-3</sup>	(4,94 ± 0,29) .10 <sup>-3</sup>	(4,65 ± 0,63) .10 <sup>-2</sup>	(5,83 ± 0,46) .10 <sup>-2</sup>
	300 m	(3,1 ± 0,16) .10 <sup>-6</sup>	(7,3 ± 0,91) .10 <sup>-3</sup>	(5,63 ± 0,44) .10 <sup>-3</sup>	(4,25 ± 0,57) .10 <sup>-2</sup>	(5,51 ± 0,52) .10 <sup>-2</sup>
Murène 27	100 m	≤ 1 . 10 <sup>-3</sup>	≤ 1	≤ 2,7	non calculé	non calculé
Whale 30	207 m	≤ 1 . 10 <sup>-3</sup>	≤ 2	≤ 2,8	non calculé	non calculé
	280 m	≤ 1 . 10 <sup>-3</sup>		≤ 2,5		non calculé
	290 m	≤ 1 . 10 <sup>-3</sup>		≤ 2		non calculé
	330 m	≤ 1 . 10 <sup>-3</sup>		≤ 1,9		non calculé

\* Pieuvre 37 (300 m), <sup>238</sup>Pu ≤ 0,23 Bq.m<sup>-3</sup> et <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu ≤ 0,35 Bq.m<sup>-3</sup>

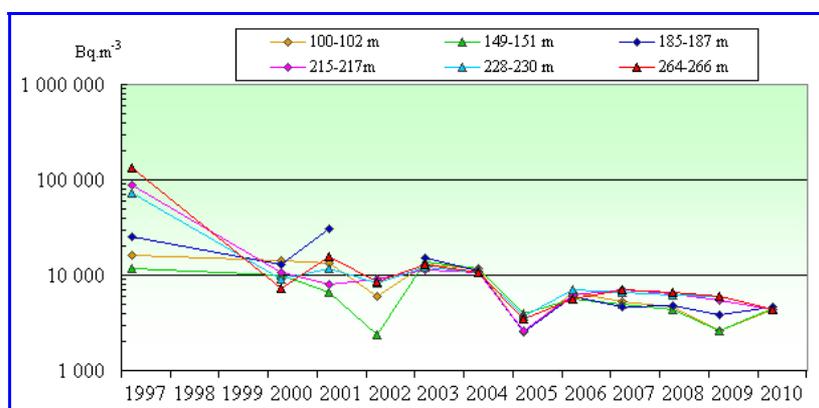


Figure III.4. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de GEO 5B depuis 1997.

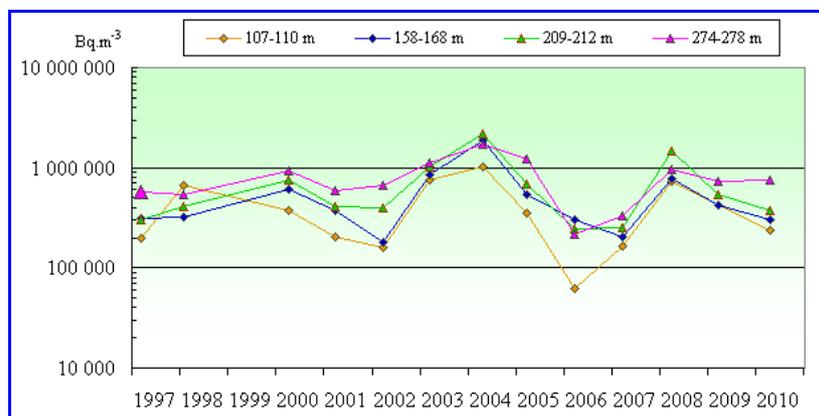


Figure III.5. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de GEO 8B depuis 1997.

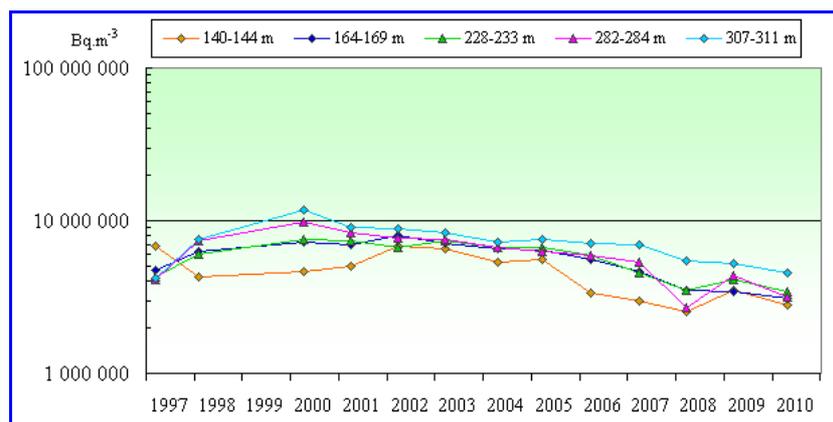


Figure III.6. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de GEO 10B depuis 1997.

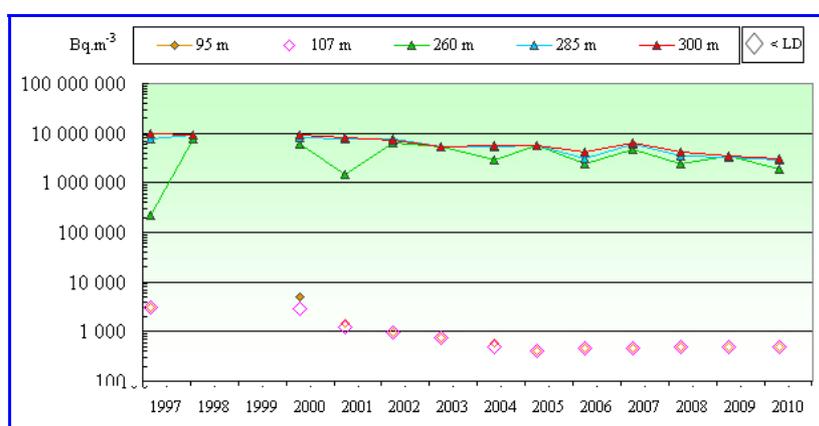


Figure III.7. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de PIEUVRE 37 depuis 1997.

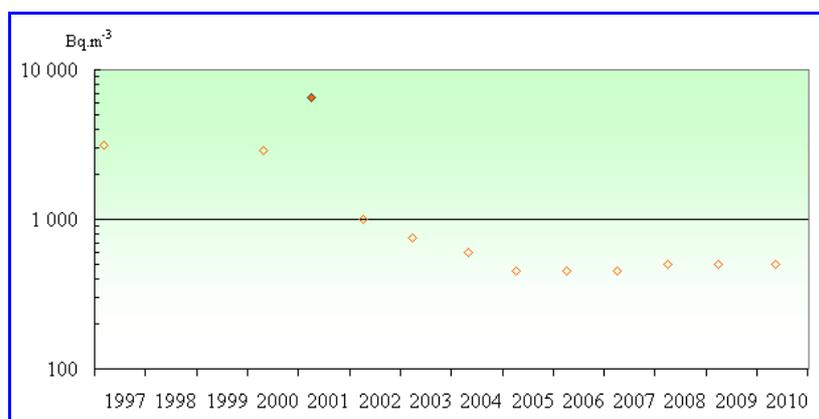


Figure III.8. - Évolution de la radioactivité HTO à la seule cote (100 m) de MURENE 27 depuis 1997.

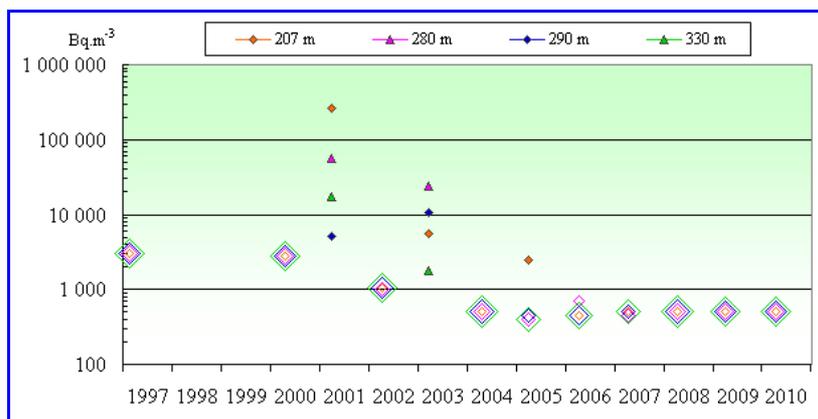


Figure III.9. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de WHALE 30 depuis 1997.

### Zone Est

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

Les activités des eaux mesurées dans les observatoires en 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/ $^{90}\text{Sr}$  et HTO/ $^{137}\text{Cs}$  de l'ordre de  $10^5$ . L'observatoire Scalaire 22 présente des valeurs des rapports HTO/ $^{90}\text{Sr}$  et HTO/ $^{137}\text{Cs}$  proches de celles de la zone Nord.

Tableau III.7. - Activité des eaux souterraines de la zone Est de Mururoa en 2010.

	Profondeur (m)	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	$^{90}\text{Sr}$ (Bq.m <sup>-3</sup> )	$^{137}\text{Cs}$ (Bq.m <sup>-3</sup> )	Rapport HTO / Sr	Rapport HTO / Cs
Tazard 14	193 m	$(1,92 \pm 0,1) \cdot 10^5$	$5,73 \pm 0,89$	$5,05 \pm 0,82$	$(3,35 \pm 0,55) \cdot 10^4$	$(3,8 \pm 0,65) \cdot 10^4$
	245 m	$(2,03 \pm 0,1) \cdot 10^6$	$(3,39 \pm 0,43) \cdot 10^1$	$(1,45 \pm 0,4) \cdot 10^1$	$(5,99 \pm 0,81) \cdot 10^4$	$(1,4 \pm 0,39) \cdot 10^5$
	290 m	$(2,04 \pm 0,11) \cdot 10^6$	$(4,47 \pm 0,57) \cdot 10^1$	$(1,61 \pm 0,21) \cdot 10^1$	$(4,56 \pm 0,63) \cdot 10^4$	$(1,27 \pm 0,18) \cdot 10^5$
Scalaire 22	100 m	$(1,47 \pm 0,1) \cdot 10^4$	$(2,66 \pm 0,45) \cdot 10^1$	$(3,07 \pm 0,51) \cdot 10^1$	$(5,53 \pm 1,01) \cdot 10^2$	$(4,79 \pm 0,86) \cdot 10^2$
	135 m	$(2,2 \pm 0,1) \cdot 10^4$	$(3,05 \pm 0,41) \cdot 10^1$	$(2,87 \pm 0,57) \cdot 10^1$	$(7,21 \pm 1,02) \cdot 10^2$	$(7,67 \pm 1,56) \cdot 10^2$
	192 m	$(2,48 \pm 1,3) \cdot 10^4$	$(4,97 \pm 0,65) \cdot 10^1$	$(3,14 \pm 0,53) \cdot 10^1$	$(4,99 \pm 2,7) \cdot 10^2$	$(7,9 \pm 4,35) \cdot 10^2$
	245 m	$(1,65 \pm 1,4) \cdot 10^4$	$(6,69 \pm 0,87) \cdot 10^1$	$(2,11 \pm 0,27) \cdot 10^1$	$(2,47 \pm 2,12) \cdot 10^2$	$(7,82 \pm 6,71) \cdot 10^2$
Pieuvre 23	100 m	$(4,49 \pm 0,2) \cdot 10^4$	$0,69 \pm 0,27$	$2 \pm 0,83$	$(6,51 \pm 2,56) \cdot 10^4$	$(2,25 \pm 0,94) \cdot 10^4$
	145 m	$(4,33 \pm 0,2) \cdot 10^4$	$1,74 \pm 0,49$	$\leq 2,7$	$(2,49 \pm 0,71) \cdot 10^4$	non calculé
	175 m	$(4,38 \pm 0,24) \cdot 10^4$	$2,08 \pm 0,59$	$\leq 2,9$	$(2,11 \pm 0,61) \cdot 10^4$	non calculé

\* Tazard 14 (290 m),  $^{238}\text{Pu} \leq 0,014 \text{ Bq.m}^{-3}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu} = 0,045 \pm 0,016 \text{ Bq.m}^{-3}$ .

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

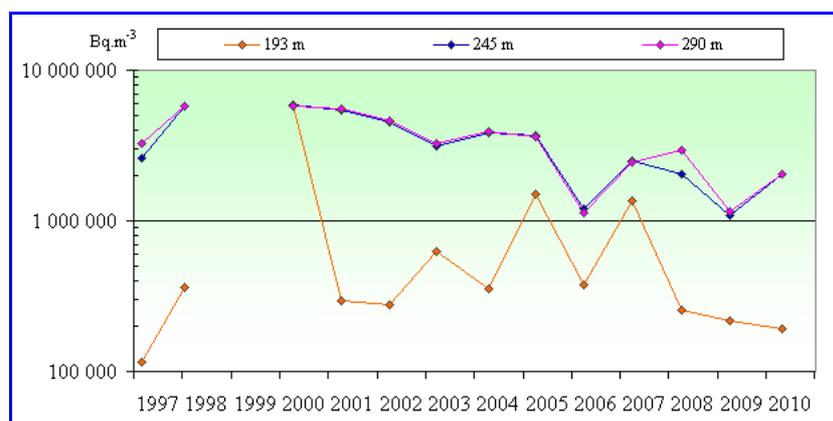


Figure III.10. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de TAZARD 14 depuis 1997.

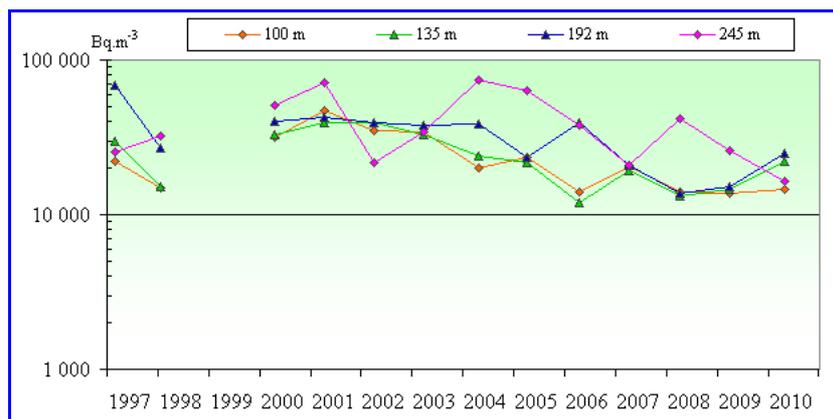


Figure III.11. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de SCALAIRE 22 depuis 1997.

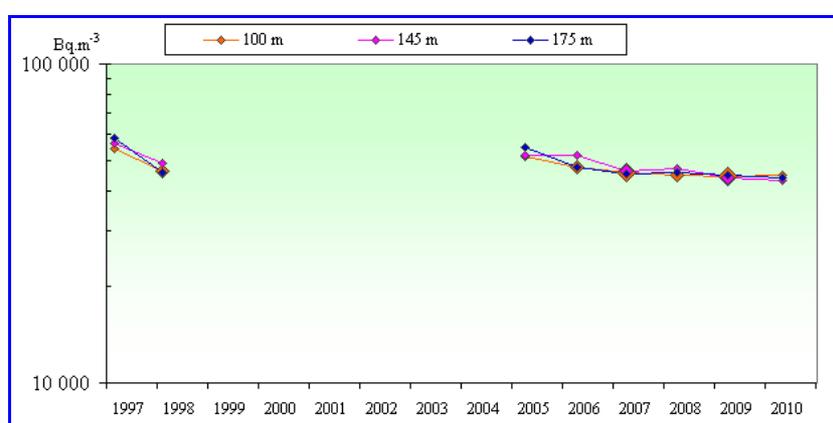


Figure III.12. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de PIEUVRE 23 depuis 1997.

Les valeurs de 2010 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 des eaux mesurées dans les observatoires en zone Sud, sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 1997 lors de la campagne de mesures réalisée par l'AIEA.

Tableau III.8. - Activité des eaux souterraines de la zone Sud de Mururoa en 2010.

	Profondeur (m)	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	Rapport HTO / Sr	Rapport HTO / Cs
Orque 13	99 m	( 1,37 ± 0,07 ) . 10 <sup>-5</sup>	2,55 ± 0,61	2,15 ± 0,74	( 5,37 ± 1,31 ) . 10 <sup>-4</sup>	( 6,37 ± 2,22 ) . 10 <sup>-4</sup>
	143 m	( 1,63 ± 0,08 ) . 10 <sup>-5</sup>	3,27 ± 0,64	≤ 3,2	( 4,98 ± 1,01 ) . 10 <sup>-4</sup>	non calculé
	178 m	( 1,73 ± 0,09 ) . 10 <sup>-5</sup>	2,33 ± 0,65	≤ 3,1	( 7,42 ± 2,11 ) . 10 <sup>-4</sup>	non calculé
Labre 13	145 m	≤ 1 . 10 <sup>-3</sup>	≤ 1,7	≤ 3,9	non calculé	non calculé
	190 m	≤ 1 . 10 <sup>-3</sup>				
	225 m	( 1,7 ± 0,4 ) . 10 <sup>-3</sup>				
Murène 16	100 m	( 3,86 ± 0,2 ) . 10 <sup>-5</sup>	7,4 ± 1,3	≤ 2,7	( 5,22 ± 0,96 ) . 10 <sup>-4</sup>	non calculé
	185 m	( 1,23 ± 0,06 ) . 10 <sup>-6</sup>	( 2,93 ± 0,4 ) . 10 <sup>-1</sup>	1,45 ± 0,7	( 4,2 ± 0,61 ) . 10 <sup>-4</sup>	( 8,48 ± 4,12 ) . 10 <sup>-5</sup>
	230 m	( 2,63 ± 0,13 ) . 10 <sup>-6</sup>	( 6,04 ± 0,77 ) . 10 <sup>-1</sup>	≤ 2,8	( 4,35 ± 0,6 ) . 10 <sup>-4</sup>	non calculé
	285 m	( 2,61 ± 0,13 ) . 10 <sup>-6</sup>	( 6,24 ± 0,81 ) . 10 <sup>-1</sup>	≤ 2,5	( 4,18 ± 0,58 ) . 10 <sup>-4</sup>	non calculé

\* Murène 16 (100 m), <sup>238</sup>Pu ≤ 0,012 Bq.m<sup>-3</sup> et <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu ≤ 0,025 Bq.m<sup>-3</sup>

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

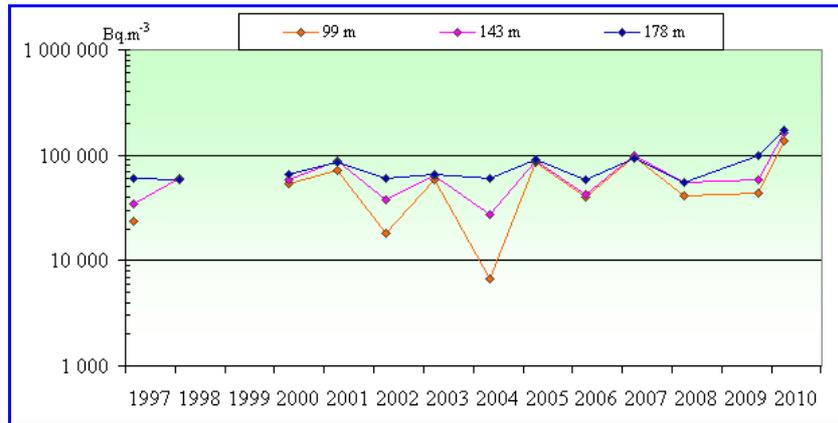


Figure III.13. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de ORQUE 13 depuis 1997.

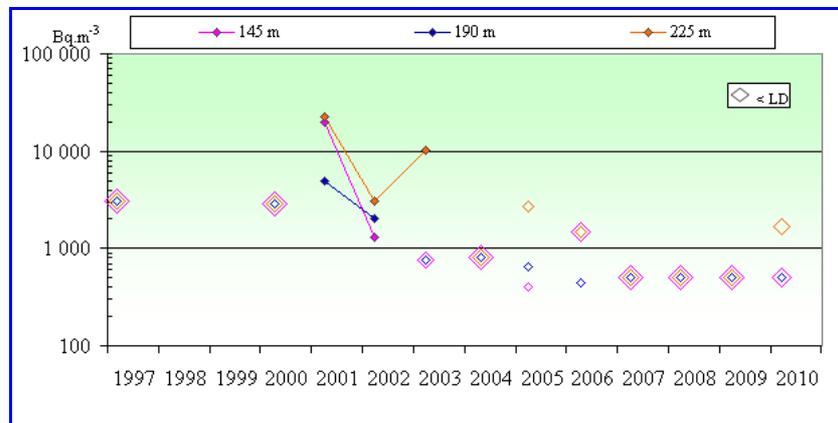


Figure III.14. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de LABRE 13 depuis 1997.

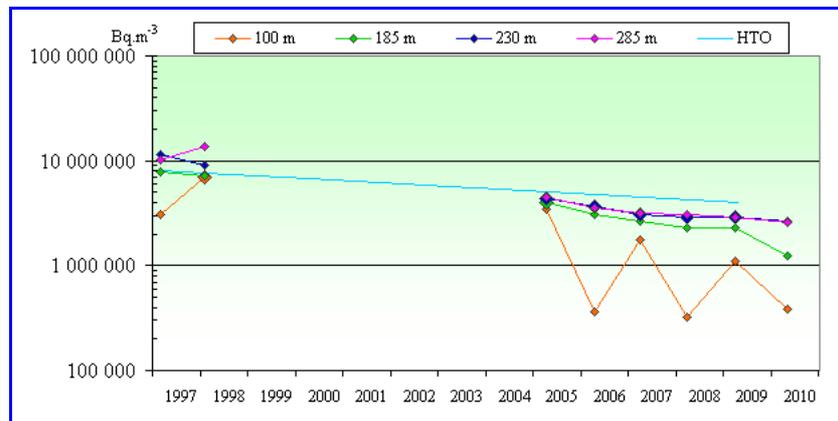


Figure III.15. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de MURENE 16 depuis 1997.

### Zone Ouest

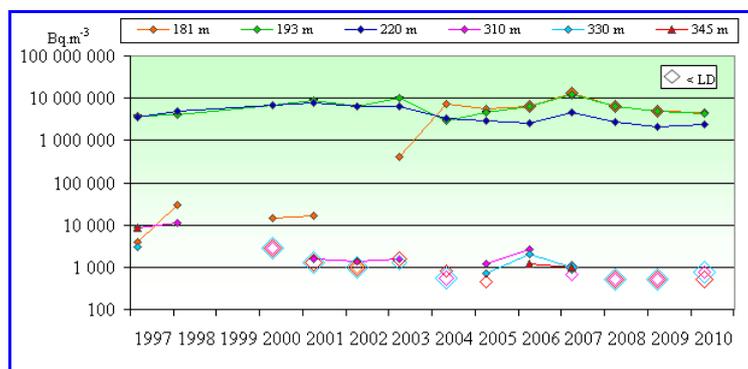
Le tableau III.9. regroupe les résultats des analyses effectuées sur les eaux souterraines de la zone Ouest. Les activités des eaux mesurées dans les observatoires en zone Ouest, sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 1997 lors de la campagne de mesures réalisée par l'AIEA.

**Tableau III.9. - Activité des eaux souterraines de la zone Ouest de Mururoa en 2010.**

	Profondeur (m)	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	Rapport HTO / Sr	Rapport HTO / Cs
Krill 23	181 m	(4,74 ± 0,24) .10 <sup>6</sup>	(4,74 ± 0,59) .10 <sup>2</sup>	≤ 2,8	(1 ± 0,13) .10 <sup>4</sup>	non calculé
	193 m	(4,43 ± 0,23) .10 <sup>6</sup>	(4,13 ± 0,52) .10 <sup>2</sup>	1,25 ± 0,67	(1,07 ± 0,15) .10 <sup>4</sup>	(3,54 ± 1,91) .10 <sup>6</sup>
	220 m	(2,37 ± 0,12) .10 <sup>6</sup>	(1,75 ± 0,22) .10 <sup>2</sup>	≤ 2,8	(1,35 ± 0,18) .10 <sup>4</sup>	non calculé
	310 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	0,8 ± 0,47	1,52 ± 0,58	non calculé	non calculé
	330 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	0,5 ± 0,22	≤ 2,4	non calculé	non calculé
	345 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>	0,78 ± 0,24	≤ 2,8	non calculé	non calculé
Isurus 10	260 m	(1,65 ± 0,09) .10 <sup>5</sup>	(1,63 ± 0,21) .10 <sup>1</sup>	2,5 ± 1,7	(1,01 ± 0,14) .10 <sup>4</sup>	(6,6 ± 4,5) .10 <sup>4</sup>
	265 m	(1,64 ± 0,09) .10 <sup>5</sup>	(1,51 ± 0,2) .10 <sup>1</sup>	2,18 ± 0,88	(1,09 ± 0,16) .10 <sup>4</sup>	(7,52 ± 3,06) .10 <sup>4</sup>
	275 m	(1,64 ± 0,09) .10 <sup>5</sup>	(1,71 ± 0,23) .10 <sup>1</sup>	1,36 ± 0,68	(9,59 ± 1,39) .10 <sup>3</sup>	(1,21 ± 0,61) .10 <sup>5</sup>
	315 m	(1,1 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	≤ 1,7	0,98 ± 0,46	non calculé	(1,12 ± 0,67) .10 <sup>3</sup>
	330 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	1,28 ± 0,43	≤ 2,9	non calculé	non calculé
	345 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	≤ 2,2	≤ 3,4	non calculé	non calculé
Flet 08	100 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	≤ 3,1	(2,02 ± 0,29) .10 <sup>1</sup>	non calculé	non calculé
	135 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>		9,9 ± 2,9		non calculé
	193 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>		2,95 ± 0,82		non calculé
	280 m	(1 ± 0,3) .10 <sup>3</sup>		2,28 ± 0,59		(4,39 ± 1,74) .10 <sup>2</sup>
Dragon 09	162 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>	≤ 1,5	≤ 2,3	non calculé	non calculé
	205 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>				
	258 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>				

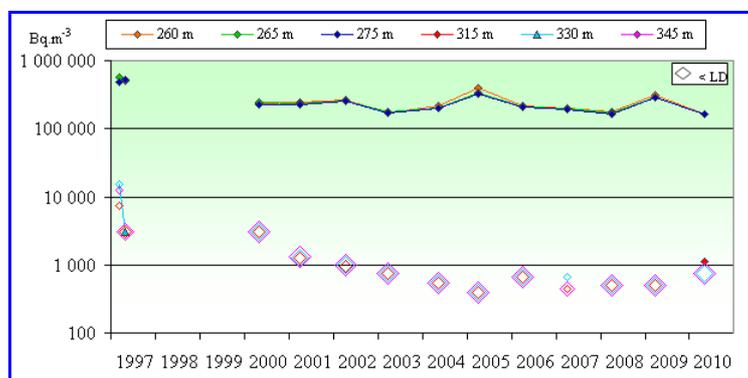
\* Krill 23 (220 m), <sup>238</sup>Pu ≤ 0,019 Bq.m<sup>-3</sup> et <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu ≤ 0,02 Bq.m<sup>-3</sup>

Les figures III.16. à III.19. présentent l'évolution de la radioactivité des eaux souterraines dans les observatoires en zone Ouest de Mururoa depuis 1997.

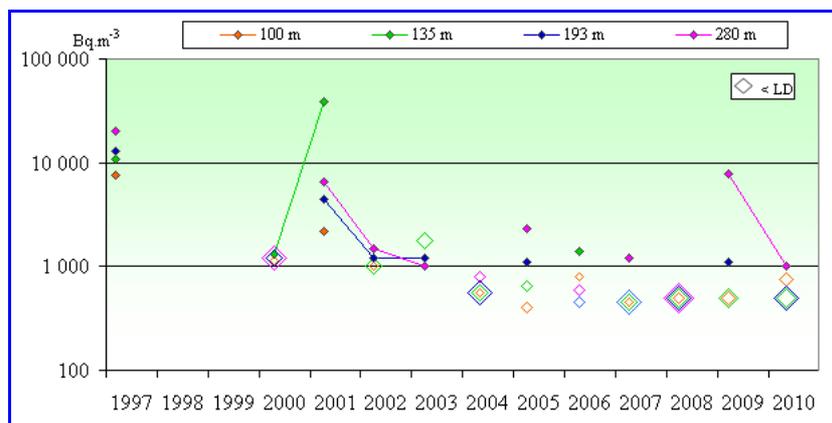


**Figure III.16. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de KRILL 23 depuis 1997.**

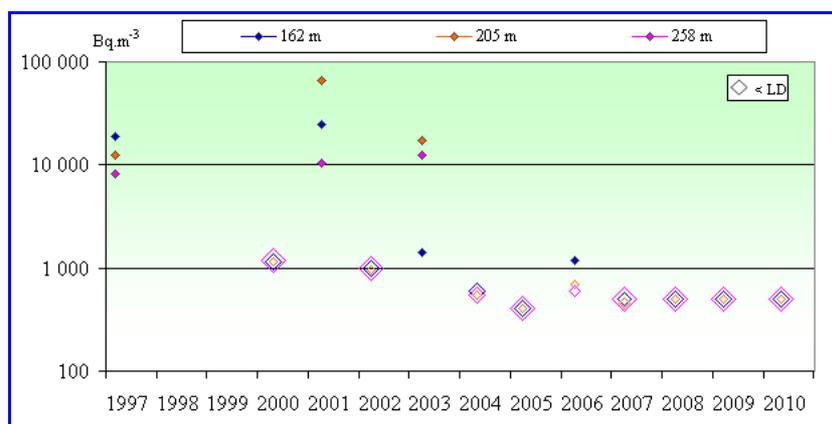
Depuis 2003, la valeur de la cote 181 m, est montée au niveau des valeurs des cotes 193 m et 220m.



**Figure III.17. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de ISURUS 10 depuis 1997.**



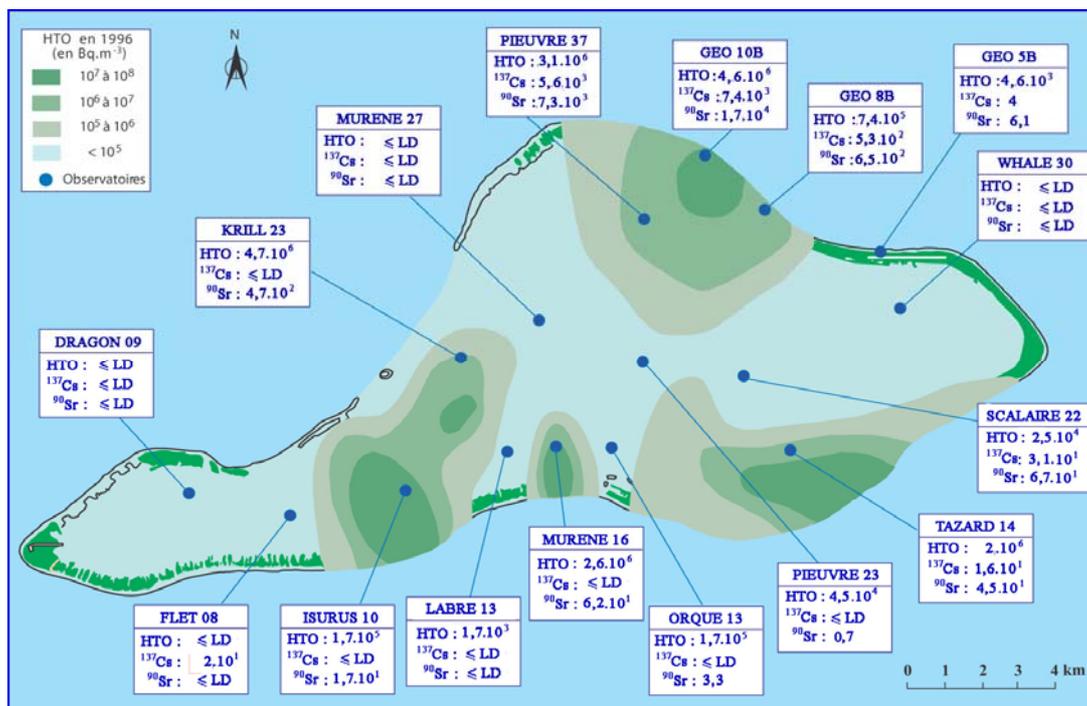
**Figure III.18. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de FLET 08 depuis 1997.**



**Figure III.19. - Évolution 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 des eaux souterraines de Mururoa reste donc relativement constante depuis 1997.



**Figure III.20. - Répartition en eau tritiée des eaux souterraines dans les carbonates en 1996 et les activités maximales en Bq.m<sup>-3</sup> observées en 2010 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.

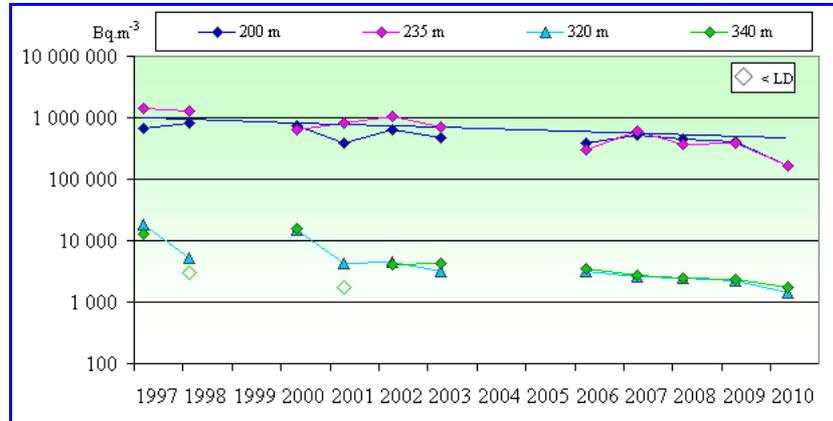
La radioactivité, présente dans les carbonates, a pour origine l'expérimentation LYCOS (caractérisée par un rapport HTO/<sup>90</sup>Sr de l'ordre de 10<sup>4</sup> et un rapport HTO/<sup>137</sup>Cs de l'ordre de 4.10<sup>4</sup>). Comme le montre le tableau III.10., c'est l'horizon karstique supérieur qui contient la majeure partie de cette activité. Les mesures des eaux des observatoires en Naticé 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.

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

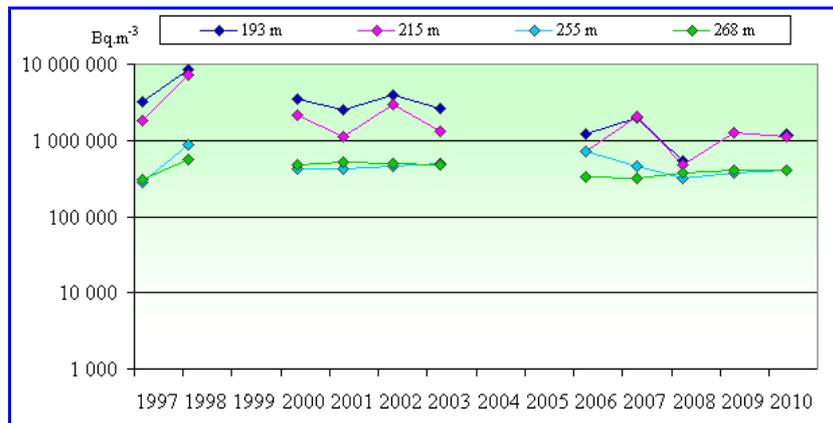
**Tableau III.10. - Activité des eaux souterraines de Fangataufa en 2010.**

	Profondeur (m)	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	Rapport HTO / Sr	Rapport HTO / Cs
Natrice 19	200 m	(1,64 ± 0,19) .10 <sup>5</sup>	(2,62 ± 8,59) .10 <sup>1</sup>	≤ 2,9	(6,26 ± 20,54) .10 <sup>3</sup>	non calculé
	235 m	(1,64 ± 0,27) .10 <sup>5</sup>	(5,43 ± 0,69) .10 <sup>1</sup>	≤ 2,7	(3,02 ± 0,63) .10 <sup>3</sup>	non calculé
	320 m	(1,4 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	1 ± 0,37	≤ 2,1	(1,4 ± 0,65) .10 <sup>3</sup>	non calculé
	340 m	(1,7 ± 0,5) .10 <sup>3</sup>	1,46 ± 0,42	≤ 2,6	(1,16 ± 0,48) .10 <sup>3</sup>	non calculé
Fuseau 30	193 m	(1,18 ± 0,06) .10 <sup>6</sup>	(2,58 ± 0,32) .10 <sup>2</sup>	(7,26 ± 0,91) .10 <sup>1</sup>	(4,57 ± 0,61) .10 <sup>3</sup>	(1,63 ± 0,22) .10 <sup>4</sup>
	215 m	(1,1 ± 0,06) .10 <sup>6</sup>	(2,31 ± 0,29) .10 <sup>2</sup>	(7,73 ± 0,92) .10 <sup>1</sup>	(4,76 ± 0,65) .10 <sup>3</sup>	(1,42 ± 0,19) .10 <sup>4</sup>
	255 m	(4,03 ± 0,21) .10 <sup>5</sup>	(7,82 ± 0,99) .10 <sup>1</sup>	(2,46 ± 0,57) .10 <sup>1</sup>	(5,15 ± 0,71) .10 <sup>3</sup>	(1,64 ± 0,39) .10 <sup>4</sup>
	268 m	(4,01 ± 0,21) .10 <sup>5</sup>	(7,65 ± 0,97) .10 <sup>1</sup>	(2,2 ± 0,29) .10 <sup>1</sup>	(5,24 ± 0,72) .10 <sup>3</sup>	(1,82 ± 0,26) .10 <sup>4</sup>
Mitre 27	233-235 m	(2 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	1,33 ± 0,41	1,39 ± 0,73	(1,5 ± 0,55) .10 <sup>3</sup>	(1,44 ± 0,81) .10 <sup>3</sup>
	237-239 m	(1,7 ± 0,5) .10 <sup>3</sup>	0,56 ± 0,4	≤ 3,1	(3,04 ± 2,34) .10 <sup>3</sup>	non calculé
Porcelaine 23	203 m	(2,7 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	1,98 ± 0,95	≤ 1,9	(1,36 ± 0,68) .10 <sup>3</sup>	non calculé
	257 m	(1,24 ± 0,08) .10 <sup>4</sup>	0,76 ± 0,49	≤ 2,2	(1,63 ± 1,06) .10 <sup>4</sup>	non calculé
	270 m	(1,7 ± 0,1) .10 <sup>4</sup>	1,03 ± 0,43	≤ 3	(1,65 ± 0,7) .10 <sup>4</sup>	non calculé

\* Fuseau 30 (193 m), <sup>238</sup>Pu ≤ 0,01Bq.m<sup>-3</sup> et <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu = (0,041 ± 0,018) Bq.m<sup>-3</sup>



**Figure III.21. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de NATICE 19 depuis 1997.**



**Figure III.22. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de FUSEAU 30 depuis 1997.**

La valeur mesurée cette année en FUSEAU 30 est anormalement basse. La mesure a été réalisée sur les deux échantillons HTO systématiquement prélevés. La même chose est constatée sur les mesures du <sup>137</sup>Cs et du <sup>90</sup>Sr. Ces mesures sont au niveau des activités volumiques de l'eau du lagon.

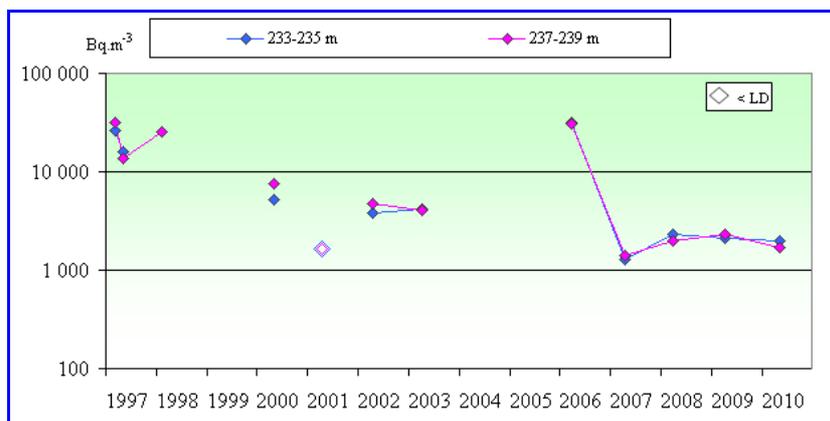


Figure III.23. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de MITRE 27 depuis 1997.

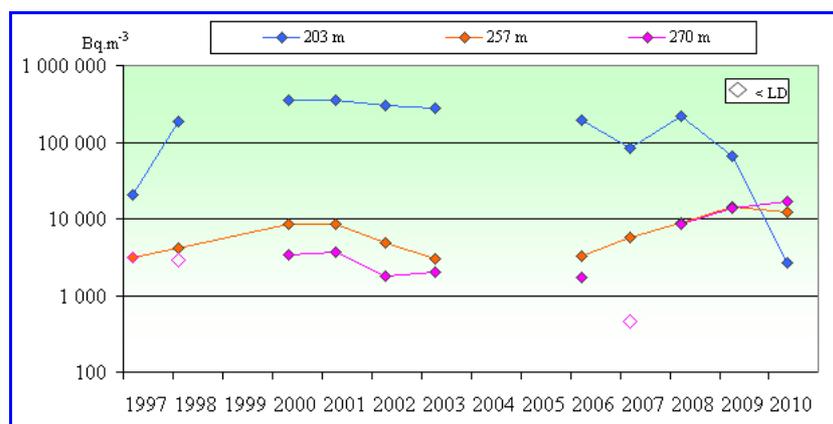


Figure III.24. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de PORCELAINE 23 depuis 1997.

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

La radioactivité HTO des eaux souterraines à Fangataufa est stable depuis 1997, à l'exception du niveau 203 m de PORCELAINE 23.

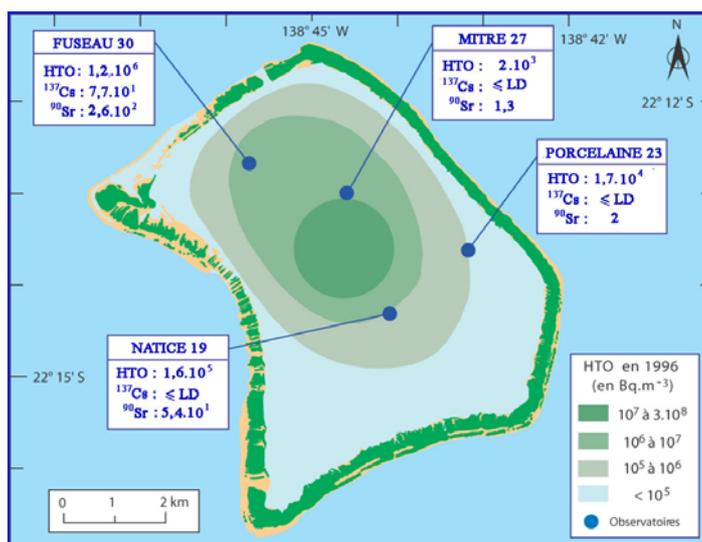


Figure III.25. - Répartition de l'eau tritiée des eaux souterraines dans les carbonates en 1996 et des activités maximales (en Bq.m<sup>-3</sup>) observées en 2010 dans les observatoires de Fangataufa.

### III.3. - RADIOACTIVITE DES EAUX SOUTERRAINES ET SISMICITE DE LA ZONE NORD

#### III.3.1 - Rappel sur la surveillance géomécanique de la zone Nord de l'atoll de Mururoa.

Une déformation lente de la pente externe de la zone Nord, a été mise en évidence dès la fin des années 70. Cette déformation concerne les zones Françoise, Camélia et Irène (figure III.26.). Ce phénomène fait l'objet d'une instrumentation particulière permettant d'en suivre l'évolution (figure III.27.).

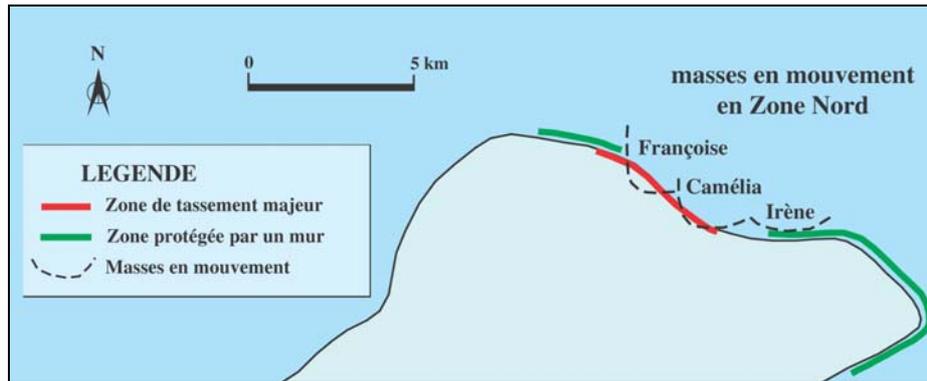


Figure III.26. - Carte de la zone Nord-Est de l'atoll de Mururoa avec les zones faisant l'objet d'une surveillance.

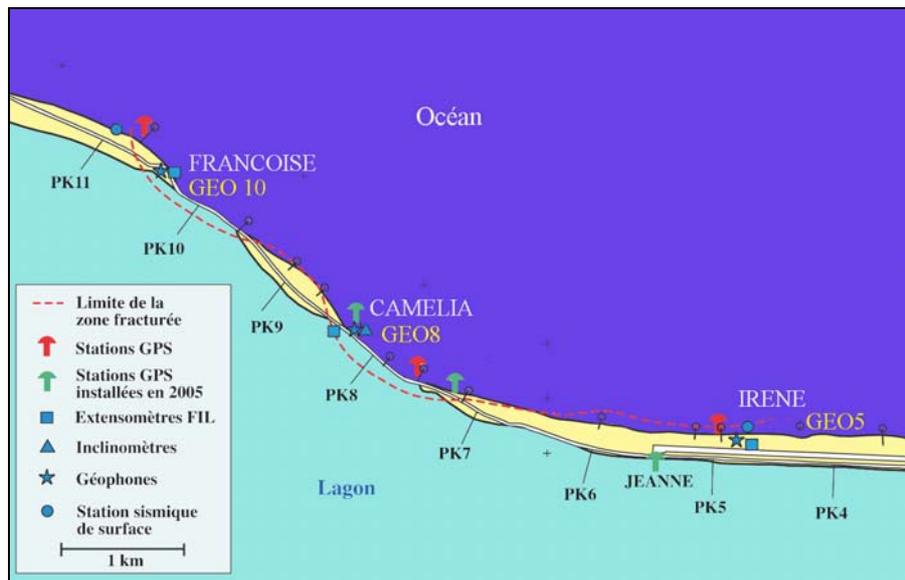


Figure III.27. - Détail de l'implantation de l'instrumentation de la zone Nord-Est de Mururoa.

Cette instrumentation (figure III.28.) permet :

1. la mesure des déplacements en surface par géodésie spatiale (GPS différentiel) ;
2. la mesure des mouvements sur les flancs par câbles ancrés dans des forages inclinés latéraux (F.I.L.) ;
3. la mesure des déformations en profondeur par inclinométrie en puits ;
4. la mesure continue de l'activité microsismique globale par des sismographes en surface et des géophones en profondeur ;

5. trois capteurs de submersion (zones Anémone, Irène et Viviane) complètent le dispositif. Ils sont destinés à mesurer la hauteur d'éventuelles vagues en cas d'éboulement.

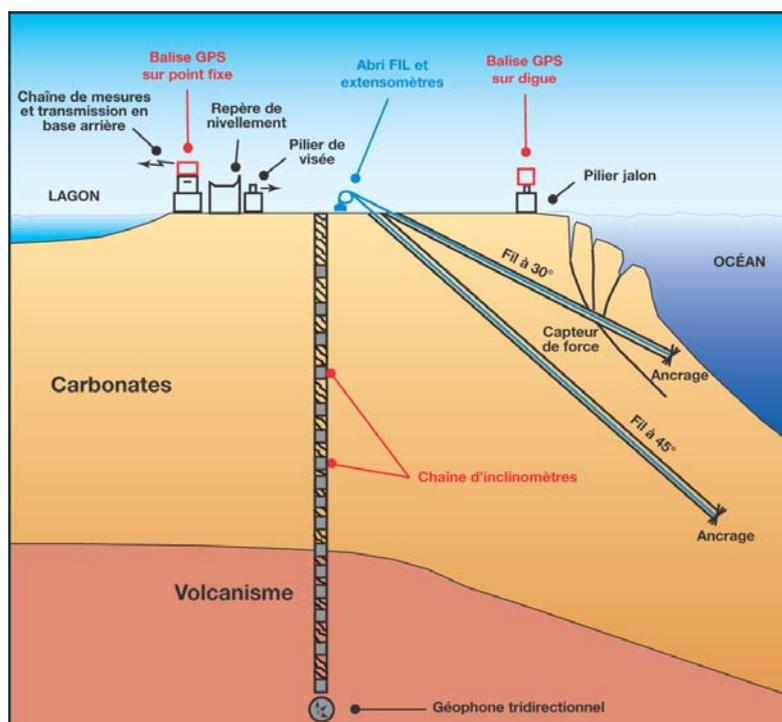


Figure III.28. - Principaux types de mesures implantées en zone Nord-Est à Mururoa.

### III.3.2 - Résultats

Les figures III.29. à III.31. présentent pour chacune des zones Irène, Camélia et Françoise : la variation de la radioactivité HTO des eaux souterraines, l'activité microsismique et l'allongement des fils

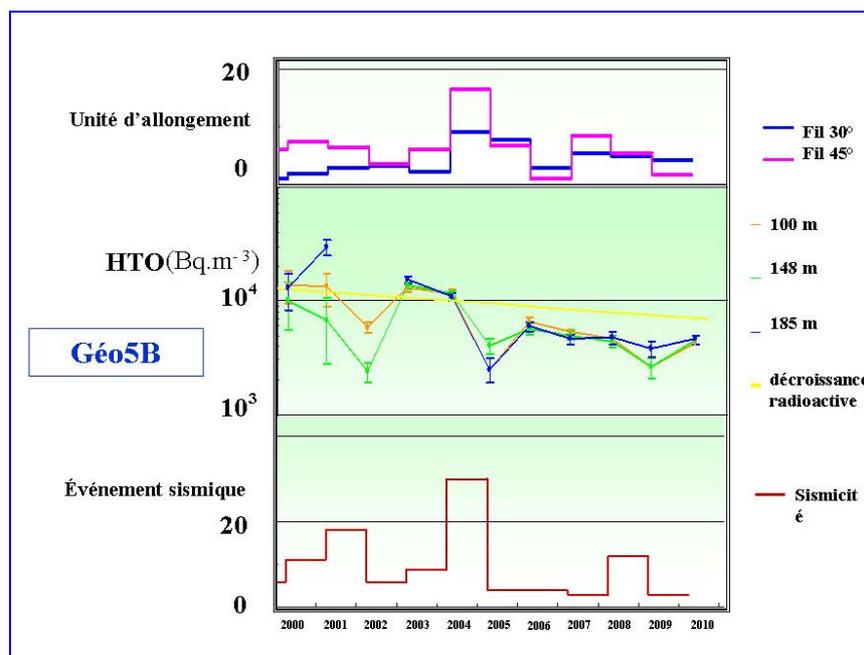


Figure III.29. - Variation de l'activité HTO en GEO5B, allongement des fils et nombre d'événements microsismiques en zone Irène.

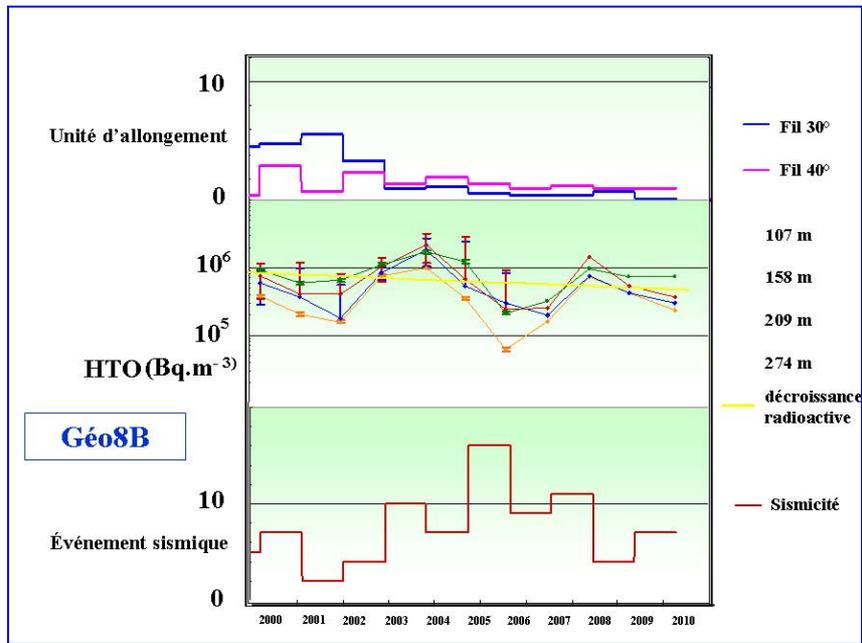


Figure III.30. - Variation de l'activité HTO en GEO8B, allongement des fils et nombre d'événements microsismiques en zone Camélia.

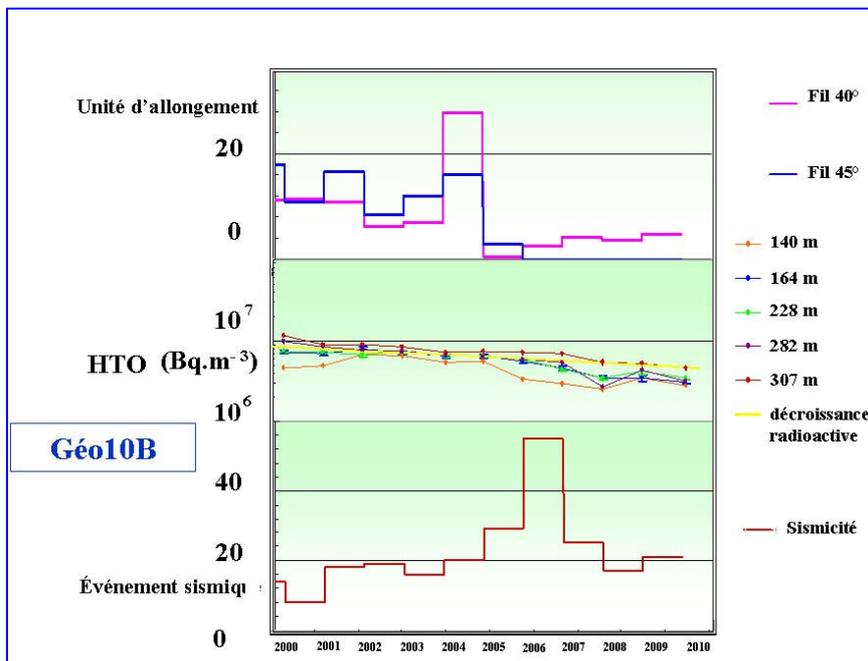


Figure III.31. - Variation de l'activité HTO en GEO10B, allongement des fils et nombre d'événements microsismiques en zone Française.

On remarque en GEO5B une diminution de la radioactivité HTO des eaux souterraines et une augmentation de l'activité sismiques en 2001, 2004 et 2008. Cette concordance ne se retrouve pas dans les autres zones.

## Chapitre IV

### LA SURVEILLANCE DU LAGON

#### IV.1. - LES EAUX DE LAGON

L'édition 2009 du guide de surveillance radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa a repris la modification apportée en 2003.

Les volumes prélevés sont :

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

Les 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.

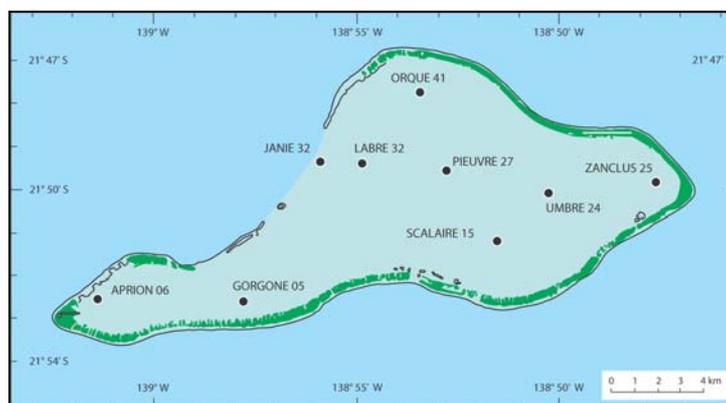
Les résultats en strontium 90 et plutonium, antérieures à cette année, figurent en annexe B.

##### 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.**



**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  $^{137}\text{Cs}$  par spectrométrie  $\gamma$  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.

**Tableau IV.1. - Caractéristiques des prélèvements d'eau du lagon de Mururoa.**

Zones	Lieux	Latitude	Longitude	Date de prélèvement
Pourtour du lagon	Aprion 06	21° 52' 45,108" S	139° 02' 15,727" W	08/05/2010
	Gorgone 05	21° 52' 41,938" S	138° 57' 54,533" W	08/05/2010
	Janie 32	21° 49' 16,830" S	138° 55' 56,727" W	09/05/2010
	Orque 41	21° 47' 45,904" S	138° 53' 20,238" W	26/04/2010
	Scalaire 15	21° 51' 12,531" S	138° 51' 29,322" W	07/05/2010
	Zanclus 25	21° 49' 51,357" S	138° 47' 30,223" W	01/05/2010
Centre du lagon	Labre 32	21° 49' 24,619" S	138° 54' 53,631" W	09/05/2010
	Pieuvre 27	21° 49' 36,033" S	138° 52' 46,347" W	05/05/2010
	Umbre 24	21° 50' 09,624" S	138° 50' 09,445" W	04/05/2010

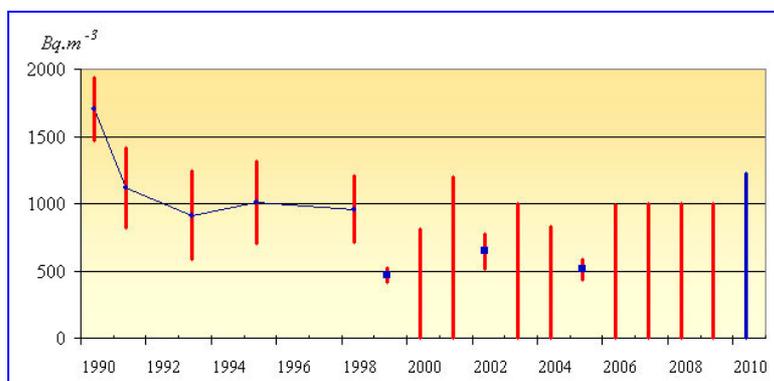
***Eau tritiée (HTO)***

Le tableau IV.2. présente les activités volumiques HTO des eaux du lagon de Mururoa en 2010.

**Tableau IV.2. - Activité volumique en HTO des eaux du lagon de Mururoa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité (Bq.m <sup>-3</sup> )
Pourtour du lagon	Aprion 06	≤ 1000
	Gorgone 05	≤ 1000
	Janie 32	≤ 1000
	Orque 41	≤ 2000
	Scalaire 15	≤ 1000
	Zanclus 25	≤ 1000
Centre du lagon	Labre 32	≤ 2000
	Pieuvre 27	≤ 1000
	Umbre 24	≤ 1000

La figure IV.3. présente l'évolution de l'activité volumique moyenne en HTO des eaux du lagon à Mururoa. Depuis 1998, les valeurs sont au niveau de la limite de détection.

**Figure IV.3. - Évolution de l'activité volumique moyenne HTO des eaux du lagon de Mururoa depuis 1990.**

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*

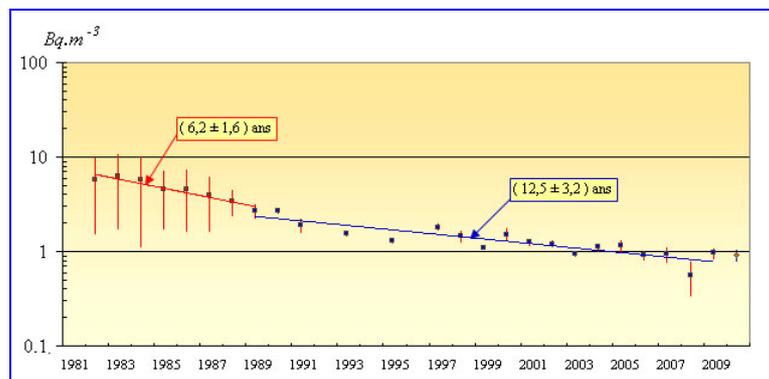
Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau IV.3.

**Tableau IV.3. - Activité volumique en  $^{137}\text{Cs}$  des eaux du lagon à Mururoa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.m}^{-3}$ )
Pourtour du lagon	Aprion 06	$1,2 \pm 0,3$
	Gorgone 05	$1,3 \pm 0,3$
	Janie 32	$1,1 \pm 0,2$
	Orque 41	$1,4 \pm 0,3$
	Scalaire 15	$1 \pm 0,9$
	Zanclus 25	$1,6 \pm 0,9$
Centre du lagon	Labre 32	$1,2 \pm 0,8$
	Pieuvre 27	$1,2 \pm 0,9$
	Umbre 24	$1,6 \pm 0,9$
Moyenne		$1,3 \pm 0,1$

La figure IV.4. présente l'évolution de l'activité volumique moyenne en  $^{137}\text{Cs}$  des eaux du lagon à Mururoa depuis 1982.

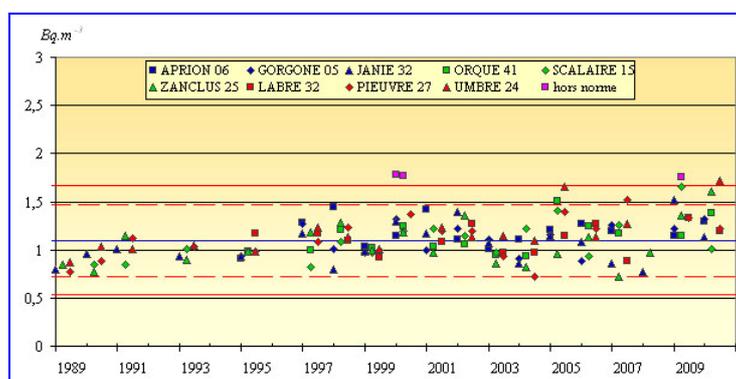
On remarque une diminution notable de l'activité volumique en  $^{137}\text{Cs}$  de l'eau du lagon qui n'est pas imputable qu'à la seule décroissance radioactive de cet élément. Le réservoir en  $^{137}\text{Cs}$  constitué par les sédiments du lagon s'est amoindri notablement au fil des ans par solubilisation du  $^{137}\text{Cs}$ . Depuis 1989, l'activité en  $^{137}\text{Cs}$  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 ans, est actuellement de l'ordre de 12,5 ans.



**Figure IV.4. - Évolution de l'activité volumique moyenne en  $^{137}\text{Cs}$  des eaux du lagon à Mururoa depuis 1982.**

À l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 138 échantillons prélevés depuis 1989, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure IV.5. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne des valeurs est de  $1,1 \pm 0,03 \text{ Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,7 ; 1,5] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2010 qui varient entre 1,01 et  $1,62 \text{ Bq.m}^{-3}$ , sont comprises dans cet intervalle.



**Figure IV.5. - Activité volumique en  $^{137}\text{Cs}$  des eaux du lagon à Mururoa depuis 1989. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010)**

En 2008, les mesures  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  et ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) n'ont été réalisées que sur les prélèvements Janie 32 (passe) et Zanclus 25 (zone vie).

### B.1. - L'atoll de MURUROA

#### Strontium 90

Conformément au « Guide de Surveillance », le strontium 90 et le plutonium ont été mesurés en 2010 (année paire).

Les résultats obtenus sur Janie 32 et Zanclus 25 sont donnés dans le tableau IV.4.

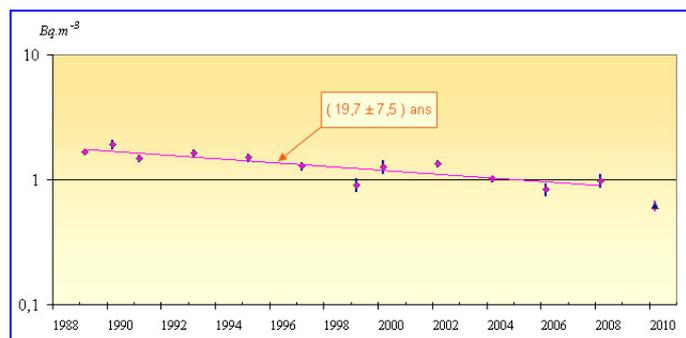
**Tableau IV.4. - Activité volumique en  $^{90}\text{Sr}$  des eaux du lagon à Mururoa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité (Bq.m <sup>-3</sup> )
Pourtour du lagon	Aprion 06	0,6 ± 0,2
	Gorgone 05	0,5 ± 0,1
	Janie 32	0,8 ± 0,1
	Orque 41	0,6 ± 0,2
	Scalaire 15	0,7 ± 0,2
	Zanclus 25	≤ 1
Centre du lagon	Labre 32	0,7 ± 0,1
	Pieuvre 27	0,6 ± 0,1
	Umbre 24	0,7 ± 0,2
Moyenne		0,6 ± 0,1

En 2010, l'activité volumique moyenne en  $^{90}\text{Sr}$  des eaux de surface du lagon de Mururoa est  $0,6 \pm 0,1$  Bq.m<sup>-3</sup>.

L'activité volumique en  $^{90}\text{Sr}$  des eaux du lagon est du même ordre de grandeur que celle des eaux océaniques polynésiennes.

La figure IV.6. présente, par année de prélèvement, la moyenne des valeurs du strontium.



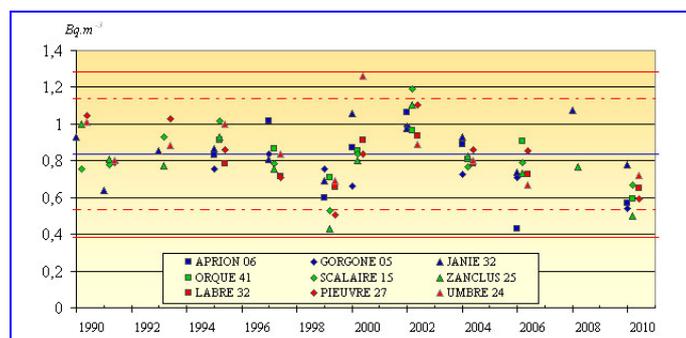
**Figure IV.6. : Evolution de l'activité volumique moyenne en  $^{90}\text{Sr}$  dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1989.**

Cette évolution présente une décroissance avec une période apparente de  $19,7 \pm 7,5$  ans.

À l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 85 échantillons prélevés depuis 1989 sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure IV.7. donne par année de prélèvement les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne des valeurs est de  $0,83 \pm 0,03$  Bq. m<sup>-3</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,4 ; 1,3] traduit la disposition des résultats.

Les valeurs 2010 qui varient entre 0,5 et 0,8 sont comprises dans cet intervalle.



**Figure IV.7.: Activité volumique en  $^{90}\text{Sr}$  dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1989. (valeurs ramenées au 01/05/2010)**

### **Rapport Césium 137 / Strontium 90**

Dans les eaux océaniques, le rapport en activité ( $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ ) est stable, de l'ordre de 1,66. Les mesures dans l'eau du lagon de Mururoa en 2010 donnent un rapport moyen de 2 (Tableau IV.5.).

**Tableau IV.5. : Rapport en activité ( $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ ) des eaux du lagon de Mururoa en 2010.**

Zones	Lieux	Rapport Cs/Sr
Pourtour du lagon	Aprion 06	$2,2 \pm 0,8$
	Gorgone 05	$2,5 \pm 0,7$
	Janie 32	$1,4 \pm 0,4$
	Orque 41	$2,3 \pm 0,9$
	Scalaire 15	$1,5 \pm 1,4$
	Zancclus 25	
Centre du lagon	Labre 32	$1,8 \pm 1,3$
	Pieuvre 27	$2,1 \pm 1,6$
	Umbre 24	$2,3 \pm 1,4$
Moyenne		$2 \pm 0,3$

La figure IV.8. donne par année de prélèvement, les valeurs des 77 rapports en activité ( $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ ) calculés depuis 1989.

La moyenne des valeurs est de  $1,63 \pm 0,07$ . l'intervalle de probabilité 99,7 % [0,7 ; 2,6] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2010 qui varient entre 1,5 et 2,3 sont comprises dans cet intervalle.

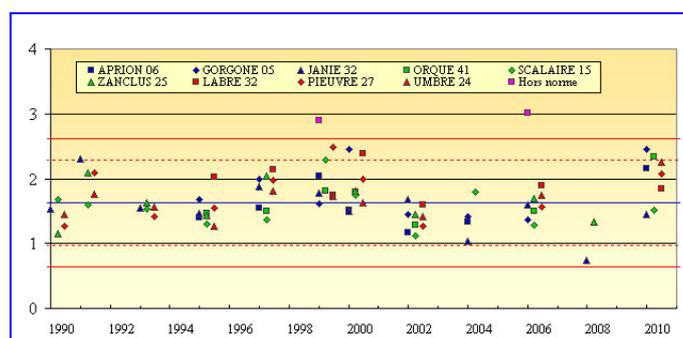


Figure IV.8. : Rapport en activité ( $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ ) des eaux du lagon de Mururoa depuis 1989.

### Plutonium

Conformément au « Guide de Surveillance », le plutonium a été recherché cette année. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau IV.6..

Tableau IV.6. : Activité volumique en  $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  et rapport des plutoniums dans les eaux du lagon de Mururoa en 2010.

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.m}^{-3}$ )	Activité ( $\text{Bq.m}^{-3}$ )	Rapport
Pourtour du lagon	Aprion 06	$0,01 \pm 0,004$	$0,02 \pm 0,01$	$0,44 \pm 0,21$
	Gorgone 05	$0,033 \pm 0,006$	$0,15 \pm 0,01$	$0,22 \pm 0,05$
	Janie 32	$0,047 \pm 0,007$	$0,3 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,03$
	Orque 41	$0,035 \pm 0,007$	$0,22 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,04$
	Scalaire 15	$0,027 \pm 0,006$	$0,16 \pm 0,01$	$0,24 \pm 0,06$
	Zanclus 25	$0,086 \pm 0,011$	$0,35 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,04$
Centre du lagon	Labre 32	$0,026 \pm 0,005$	$0,11 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,03$
	Pieuvre 27	$0,03 \pm 0,006$	$0,16 \pm 0,02$	$0,25 \pm 0,04$
	Umbre 24	$0,025 \pm 0,006$	$0,15 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,04$
Moyenne		$0,03^*$	$0,15^*$	$0,22 \pm 0,06$

En 2010, l'activité volumique moyenne en plutonium des eaux de surface du lagon de Mururoa est de  $0,03 \text{ Bq.m}^{-3}$  en  $^{238}\text{Pu}$  et de  $0,15 \text{ Bq.m}^{-3}$  en  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ .

Les activités en plutonium sont sans changement par rapport aux années précédentes. Le rapport moyen  $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  est de  $0,22 \pm 0,06$ .

### Plutonium 238

La figure IV.9. donne par année les valeurs mesurées sur les 95 échantillons prélevés depuis 1987. La moyenne géométrique est de 0,05. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,01 ; 0,25] traduit la dispersion des résultats. A l'exception de la valeur mesurée en Aprion 06 ( $0,01 \text{ Bq.m}^{-3}$ ), les autres valeurs 2010 qui varient entre 0,025 et 0,09 sont comprises dans cet intervalle.

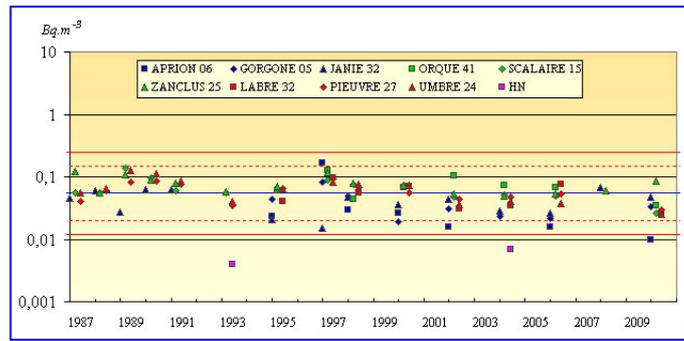


Figure IV.9. : Activité volumique en  $^{238}\text{Pu}$  dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1987.

### *Plutonium 239 + Plutonium 240*

La figure IV.10. donne par année les valeurs mesurées depuis 1987 sur les 95 échantillons prélevés.

La moyenne géométrique est de 0,3. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,06 ; 1,46] traduit la dispersion des résultats. A l'exception de la valeur mesurée en Aprion 06 (0,02 Bq.m<sup>-3</sup>), les autres valeurs 2010 qui varient entre 0,11 et 0,35 Bq.m<sup>-3</sup> sont comprises dans cet intervalle.

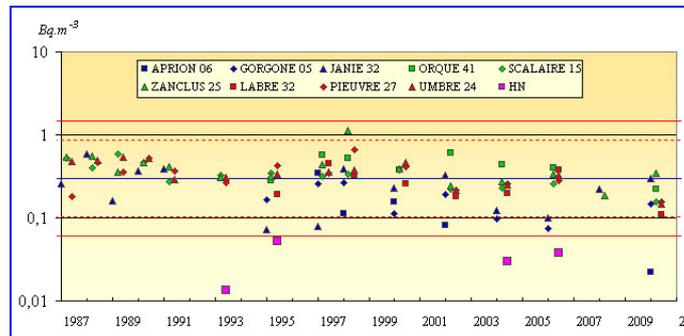


Figure IV.10. : Activité volumique en  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1987.

### *Rapport en activité Plutonium 238 / Plutonium 239 + Plutonium 240*

La figure IV.11. donne par année de prélèvement, les valeurs des 82 rapports en activité, calculés depuis 1987. La moyenne des valeurs est de  $0,20 \pm 0,01$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,04 ; 0,36] traduit la dispersion des résultats. A l'exception de la valeur calculée en Aprion 06 (0,44) valeurs calculées en 2010 qui varient entre 0,17 et 0,25 sont comprises dans cet intervalle.

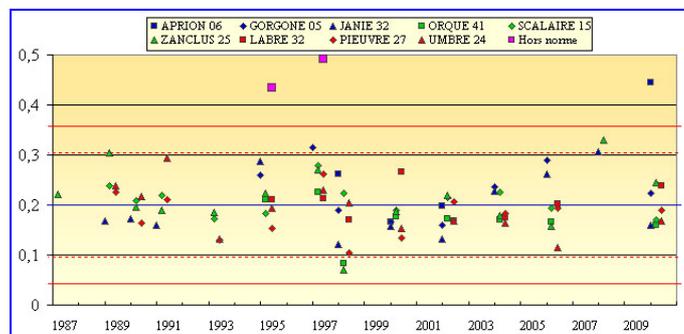


Figure IV.11. : Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) dans les eaux du lagon de Mururoa calculé depuis 1987.

Les rapports suivants n'ont pas été calculé (valeur du  $^{238}\text{Pu} < \text{LD}$ )

- 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 2007.

### Récapitulatif

En vue de comparer les niveaux de radioactivité des principaux radionucléides artificiels, ces derniers sont présentés dans la figure IV.12.

En 2010, les valeurs en HTO sont inférieures à la limite de détection. Les activités volumiques moyennes mesurées en  $^{137}\text{Cs}$  sont de  $1,3 \text{ Bq.m}^{-3}$ , celles en  $^{90}\text{Sr}$  sont de  $0,6 \text{ Bq.m}^{-3}$  et celles en  $^{238}\text{Pu}$  et ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) sont respectivement de  $0,03$  et de  $0,15 \text{ Bq.m}^{-3}$ .

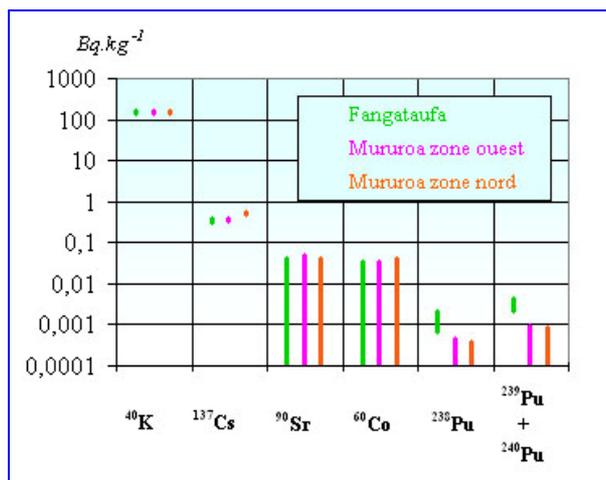


Figure IV.12. - Activité des eaux du lagon à Mururoa en 2010.

#### IV.1.2.2. - L'atoll de Fangataufa

Les caractéristiques des prélèvements effectués sur l'atoll de Fangataufa sont indiquées dans le tableau IV.7.

Tableau IV.7. - Caractéristiques des prélèvements d'eau du lagon à Fangataufa.

Zones	Lieux	Latitude	Longitude	Date de prélèvement
Pourtour du lagon	Cérite 27	22° 13' 24,631" S	138° 46' 33,358" W	12/05/2010
	Limnée 35	22° 12' 18,675" S	138° 45' 24,582" W	12/05/2010
	Mitre 09	22° 15' 49,431" S	138° 44' 46,303" W	16/05/2010
	Troque 13	22° 15' 15,470" S	138° 43' 02,088" W	16/05/2010
Centre du lagon	Mitre 26	22° 13' 39,196" S	138° 44' 30,931" W	16/05/2010

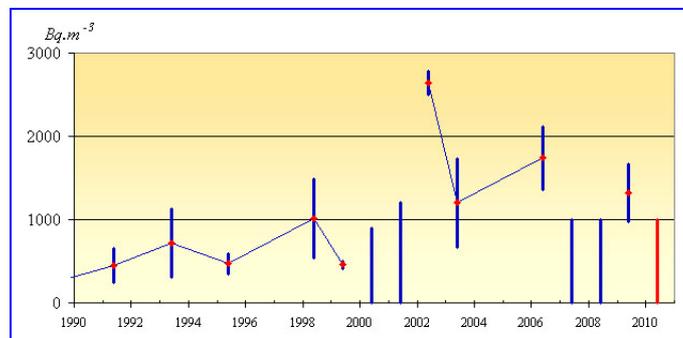
### Eau tritiée

Le tableau IV.8. présente les résultats des mesures HTO effectuées sur les prélèvements d'eau de surface du lagon de Fangataufa.

**Tableau IV.8. - Activité volumique HTO des eaux du lagon à Fangataufa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité (Bq.m <sup>-3</sup> )
Pourtour du lagon	Cérithe 27	≤ 1000
	Limnée 35	≤ 1000
	Mitre 09	≤ 1000
	Troque 13	≤ 1000
Centre du lagon	Mitre 26	≤ 1000

La figure IV.13. présente l'activité volumique moyenne mesurée des eaux de surface du lagon à Fangataufa entre 1991 et 2010.



**Figure IV.13. - Activité volumique HTO moyenne des eaux du lagon à Fangataufa depuis 1991.**

La valeur moyenne 2010 est du même ordre de grandeur que celle enregistrée en 2007 et 2008.

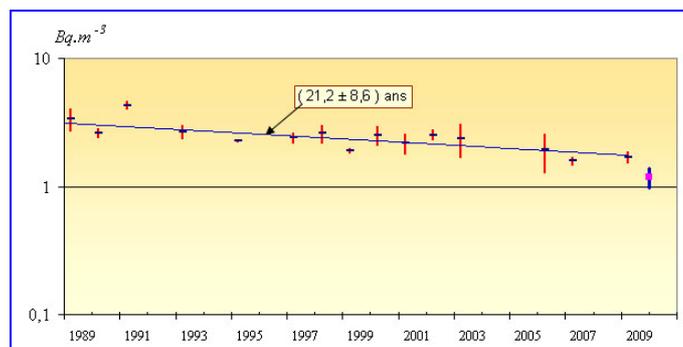
### Césium 137

Les résultats obtenus en 2010 sont donnés dans le tableau IV.9.

**Tableau IV.9. - Activité du <sup>137</sup>Cs des eaux du lagon à Fangataufa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité (Bq.m <sup>-3</sup> )
Pourtour du lagon	Cérithe 27	1 ± 0,3
	Limnée 35	1 ± 0,3
	Mitre 09	1,2 ± 0,6
	Troque 13	1,6 ± 0,9
Centre du lagon	Mitre 26	1,2 ± 0,2
Moyenne		1,2 ± 0,2

La figure IV.14. présente l'activité moyenne en <sup>137</sup>Cs depuis 1989.



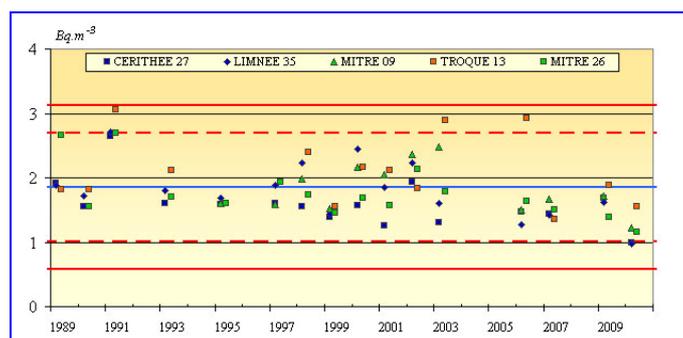
**Figure IV.14. - Évolution de l'activité volumique moyenne en  $^{137}\text{Cs}$  des eaux du lagon à Fangataufa depuis 1989.**

L'activité en  $^{137}\text{Cs}$  des eaux du lagon à Fangataufa est du même ordre de grandeur que celles du lagon de Mururoa. Cette radioactivité décroît selon une période apparente de 21.2 ans voisine de la période radioactive du  $^{137}\text{Cs}$  (30 ans).

À l'aide de cette période, les valeurs mesurées sur les 71 échantillons prélevés entre 1989 et 2007 sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure IV.15. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne des valeurs est de  $1,85 \pm 0,10 \text{ Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,58 ; 3,1] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2010 qui varient entre 0,97 et  $1,55 \text{ Bq.m}^{-3}$  sont comprises dans cet intervalle.



**Figure IV.15. - Activité volumique en  $^{137}\text{Cs}$  des eaux du lagon à Fangataufa depuis 1989. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### **Strontium 90**

Les résultats obtenus en 2010 sont donnés dans le tableau IV.10.

**Tableau IV.10. : Activité en  $^{90}\text{Sr}$  des eaux du lagon de Fangataufa en 2010.**

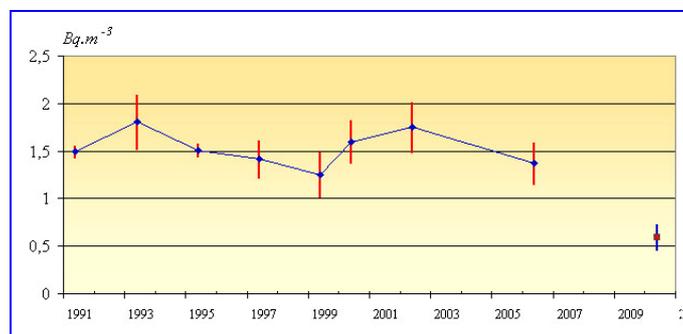
Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.m}^{-3}$ )
Pourtour du lagon	Cérite 27	$0,4 \pm 0,1$
	Limnée 35	$0,4 \pm 0,1$
	Mitre 09	$0,7 \pm 0,1$
	Troque 13	$0,8 \pm 0,1$
Centre du lagon	Mitre 26	$0,7 \pm 0,1$
Moyenne		$0,6 \pm 0,2$

En 2010, l'activité moyenne en  $^{90}\text{Sr}$  des eaux de surface du lagon de Fangataufa est de  $0,6 \text{ Bq.m}^{-3}$ , valeur plus faible que 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 IV.16. présente la radioactivité moyenne en  $^{90}\text{Sr}$  mesurées depuis 1991 (pas de suivi systématique avant cette date).

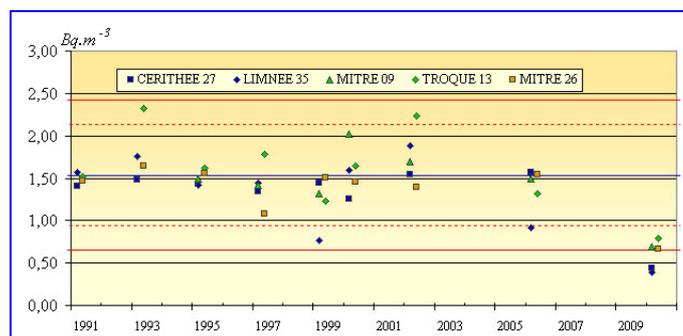
Contrairement à Mururoa, jusqu'en 2006, cette courbe ne présentait pas de décroissance. Cette année les valeurs sont plus faibles.



**Figure IV.16. : Evolution de l'activité volumique moyenne en  $^{90}\text{Sr}$  des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.**

La figure IV.17. présente, pour les 38 échantillons prélevés depuis 1991, les valeurs mesurées aux différents points. La moyenne des valeurs est de  $1,52 \text{ Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,63 ; 2,40] traduit la dispersion des résultats.

A l'exception des valeurs en Cérithée 27 et Limnée 35 ( $0,4 \text{ Bq.m}^{-3}$ ), les autres valeurs 2010 qui varient entre 0,7 et  $0,8 \text{ Bq.m}^{-3}$  sont comprises de cet intervalle, elles sont proche de la limite inférieure.



**Figure IV.17. : Activité volumique en  $^{90}\text{Sr}$  des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.**

### ***Rapport Césium 137 / Strontium 90***

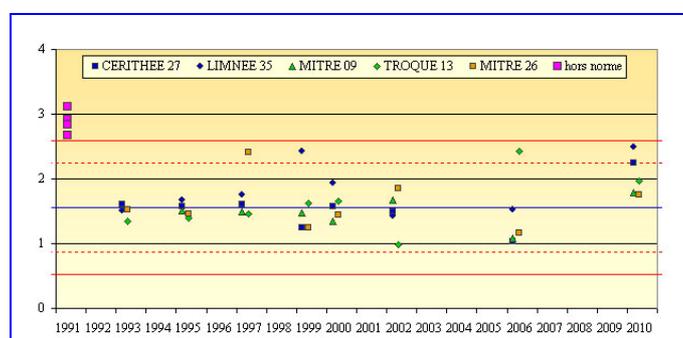
Dans les eaux océaniques, le rapport des activités  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  est stable, de l'ordre de 1,45. Les mesures dans l'eau du lagon de Fangataufa (Tableau IV.11.) donnent un rapport moyen de 1,45, légèrement plus important que les années précédentes et identiques pour les deux lagons (Fig. IV.18.).

**Tableau IV.11. : Rapport en activité ( $^{137}\text{Cs} / ^{90}\text{Sr}$ ) dans les eaux du lagon de Fangataufa en 2010.**

Zones	Lieux	Rapport
Pourtour du lagon	Cérithé 27	2,3 ± 0,8
	Limnée 35	2,5 ± 0,9
	Mitre 09	1,8 ± 0,9
	Troque 13	2 ± 1,2
Centre du lagon	Mitre 26	1,8 ± 0,5
Moyenne		2,1 ± 0,3

La figure IV.18. présente, pour les 38 rapports calculés depuis 1991, les valeurs des rapports Cs/Sr calculées aux différents points. La valeur moyenne est de 1,56. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,5 ; 2,6] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2010 qui varient entre 1,7 et 2,5 sont comprises dans cet intervalle.

**Figure IV.18. : Rapport en activité ( $^{137}\text{Cs} / ^{90}\text{Sr}$ ) dans les eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.**

### Plutonium

Les résultats obtenus en 2010 sont donnés dans le tableau IV.12.

**Tableau IV.12. : Activité volumique en  $^{238}\text{Pu}$  et ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) dans les eaux du lagon de Fangataufa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.m}^{-3}$ )	Activité ( $\text{Bq.m}^{-3}$ )	Rapport
Pourtour du lagon	Cérithé 27	0,03 ± 0,01	0,1 ± 0,01	0,36 ± 0,08
	Limnée 35	0,1 ± 0,01	0,26 ± 0,02	0,37 ± 0,05
	Mitre 09	0,11 ± 0,01	0,32 ± 0,02	0,35 ± 0,04
	Troque 13	0,12 ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,37 ± 0,04
Centre du lagon	Mitre 26	0,13 ± 0,01	0,34 ± 0,02	0,39 ± 0,05
Moyenne		0,09 *	0,25 *	0,37 ± 0,01

\* Moyenne géométrique

En 2010, l'activité moyenne en plutonium des eaux de surface du lagon de Fangataufa est de :

0,09  $\text{Bq.m}^{-3}$  en  $^{238}\text{Pu}$ ,

0,25  $\text{Bq.m}^{-3}$  en  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$

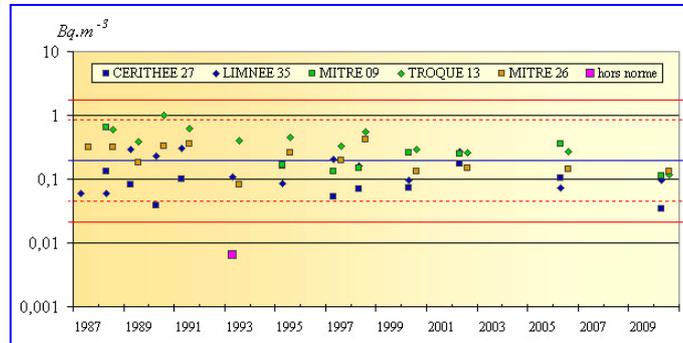
et 0,37 ± 0,01 pour le rapport  $^{238}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ .

Les activités en plutonium sont sans changement par rapport aux années antérieures.

### Plutonium 238

La figure IV.19. présente, pour les 53 échantillons prélevés depuis 1987, les valeurs mesurées aux différents points. La moyenne des valeurs est de  $0,2 \text{ Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,02 ; 1,9] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2010 qui varient entre 0,03 et 0,13 sont comprises dans cet intervalle.

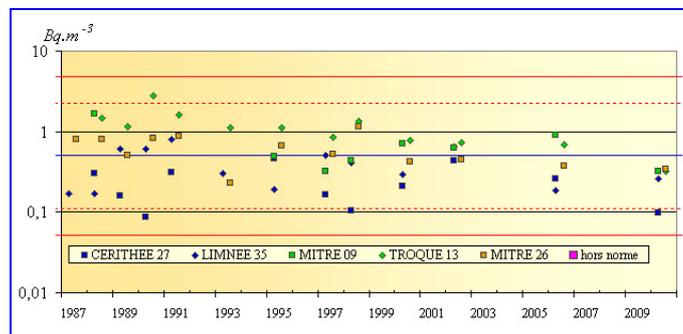


**Figure IV.19. : Activité volumique en  $^{238}\text{Pu}$  dans les eaux du lagon de Fangataufa depuis 1987.**

### Plutonium 239 + plutonium 240

La figure IV.20. présente, pour les 53 échantillons prélevés depuis 1987, les valeurs mesurées aux différents points. La moyenne des valeurs est de  $0,5 \text{ Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,05 ; 4,79] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2010 qui varient entre 0,1 et 0,34 sont comprises dans cet intervalle.

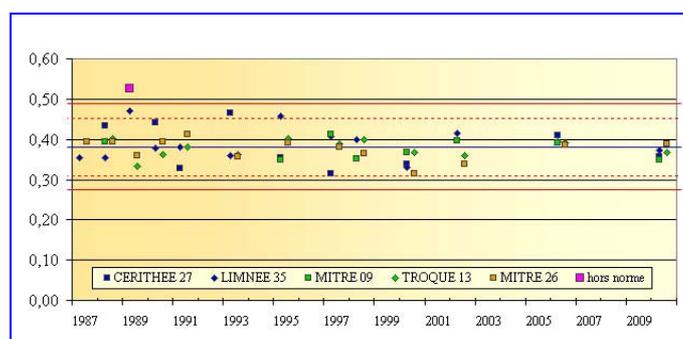


**Figure IV.20. : Activité volumique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) dans les eaux du lagon de Fangataufa depuis 1987.**

### Rapport plutonium 238/plutonium 239 + plutonium 240

La figure IV.21. présente, pour les 52 rapports calculés depuis 1990, les valeurs pour les différents points. La moyenne des valeurs est de  $0,39 \pm 0,02 \text{ Bq.m}^{-3}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,2 ; 0,58] traduit la dispersion des résultats.

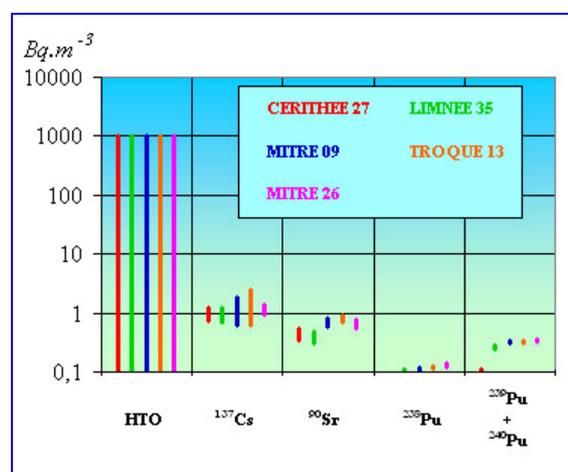
Les valeurs 2010 qui varient entre 0,34 et 0,39 sont comprises dans cet intervalle.



**Figure IV.21.: Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) dans les eaux du lagon de Fangataufa depuis 1990.**

### *Récapitulatif*

La figure IV.22 présente les activités volumiques HTO mesurées en 2010 qui sont proches de la limite de détection. Les activités volumiques moyennes mesurées en  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  et ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) sont respectivement de  $1,2 \text{ Bq.m}^{-3}$ ,  $0,6 \text{ Bq.m}^{-3}$ ,  $0,09 \text{ Bq.m}^{-3}$  et  $0,25 \text{ Bq.m}^{-3}$ .



**Figure IV.22. - Activité volumique des eaux du lagon à Fangataufa en 2010.**

## **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 2009 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 des deux atolls,
- le dosage du plutonium n'est réalisé qu'une année sur quatre,
- la mesure du  $^{90}\text{Sr}$  n'est effectuée que si la valeur en  $^{137}\text{Cs}$  est supérieure à  $1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,
- 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. En 2008, seule l'analyse  $\gamma$  a été réalisée à Mururoa ainsi qu'à Fangataufa.

#### IV.2.1. - LES MODES DE PRELEVEMENTS 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.

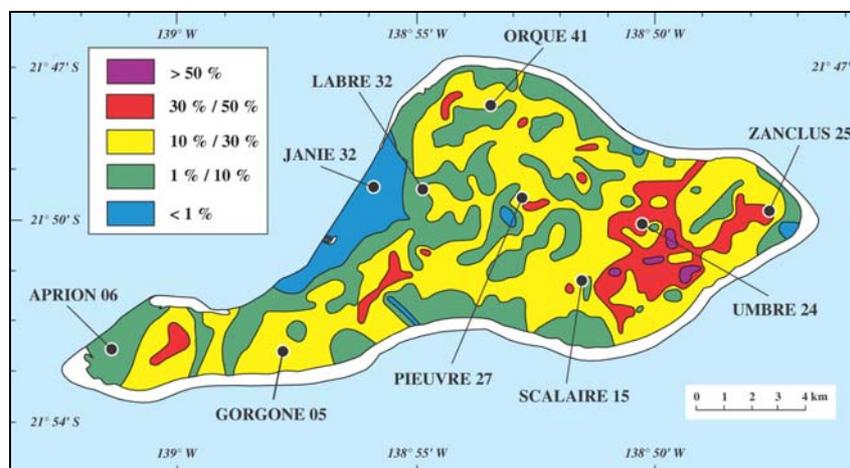
Les prélèvements sont obtenus à l'aide d'une benne Shipeck manipulée grâce à un portique spécialement aménagé sur la vedette de servitude du REVI.



Récupération des sédiments dans le godet de la benne Shipeck.

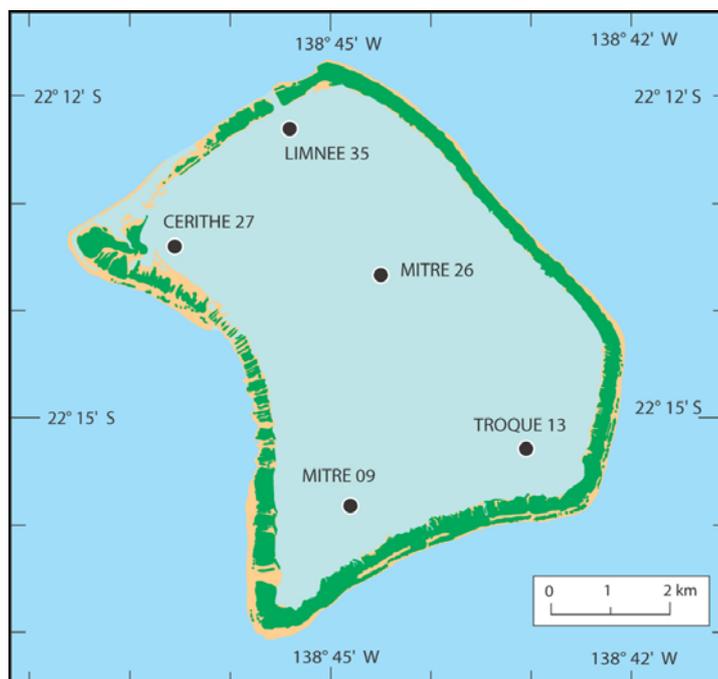
Annuellement, les prélèvements sont réalisés :

- À Mururoa, aux 9 emplacements prévus à l'intérieur du lagon (Figure IV.23.) :
  - 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 IV.23. : Emplacements des prélèvements de sédiments 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 IV.24.) :
  - 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 IV.24. : Emplacements des prélèvements de sédiments dans le lagon de Fangataufa.**

Selon les années, sur chaque échantillon de sédiments sont réalisés :

- une spectrométrie  $\gamma$  sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du  $^{137}\text{Cs}$  et autres émetteurs  $\gamma$ ),
- une recherche et une mesure du plutonium ( $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) par spectrométrie  $\alpha$  sur chambre à grille ou sur chambre à détecteur semi-conducteur Si,
- un dosage du  $^{90}\text{Sr}$  par comptage  $\beta$  de son descendant radioactif  $^{90}\text{Y}$  sur compteur proportionnel bas bruit si le  $^{137}\text{Cs}$  est supérieur à  $1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ .

#### IV.2.2. - LES RESULTATS

Les résultats des mesures de l'activité massiques des principaux radionucléides naturels ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Th}$  et  $^{228}\text{Ac}$ ) et artificiels ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{155}\text{Eu}$  et  $^{241}\text{Am}$ ) 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 IV.13. et IV.14.

**Tableau IV.13. : Caractéristiques des prélèvements de sédiments de lagon de Mururoa.**

Zones	Lieux	Latitude	Longitude	Date de prélèvement	Profondeur
Pourtour du lagon	Aprion 06	21° 52' 45,108" S	139° 02' 15,727" W	08/05/2010	5 m
	Gorgone 05	21° 52' 41,938" S	138° 57' 54,533" W	08/05/2010	15 m
	Janie 32	21° 49' 16,830" S	138° 55' 56,727" W	09/05/2010	25 m
	Orque 41	21° 47' 45,904" S	138° 53' 20,238" W	26/04/2010	35 m
	Scalaire 15	21° 51' 12,531" S	138° 51' 29,322" W	07/05/2010	41 m
	Zanclus 25	21° 49' 51,357" S	138° 47' 30,223" W	01/05/2010	25 m
Centre du lagon	Labre 32	21° 49' 24,619" S	138° 54' 53,631" W	09/05/2010	43
	Pieuvre 27	21° 49' 36,033" S	138° 52' 46,347" W	05/05/2010	27 m
	Umbre 24	21° 50' 09,624" S	138° 50' 09,445" W	04/05/2010	21 m

**Tableau IV.14. : Caractéristiques des prélèvements de sédiments de lagon de Fangataufa.**

Zones	Lieux	Latitude	Longitude	Date de prélèvement	Profondeur
Pourtour du lagon	Cérithie 27	22° 13' 24,631" S	138° 46' 33,358" W	12/05/2010	9 m
	Limnée 35	22° 12' 18,675" S	138° 45' 24,582" W	12/05/2010	7 m
	Mitre 09	22° 15' 49,431" S	138° 44' 46,303" W	16/05/2010	12 m
	Troque 13	22° 15' 15,470" S	138° 43' 02,088" W	16/05/2010	11 m
Centre du lagon	Mitre 26	22° 13' 39,196" S	138° 44' 30,931" W	16/05/2010	25 m

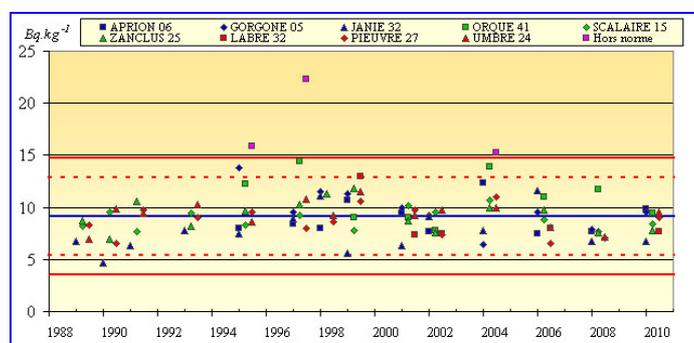
**IV.2.2.1. - L'atoll de MURUROA*****Radioactivité d'origine naturelle******Potassium 40***

Le tableau IV.15. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

**Tableau IV.15. : Activité massique en  $^{40}\text{K}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ sec)
Pourtour du lagon	Aprion 06	$9,9 \pm 2$
	Gorgone 05	$9,5 \pm 2,8$
	Janie 32	$6,8 \pm 0,8$
	Orque 41	$9,4 \pm 1,7$
	Scalaire 15	$8,4 \pm 1,8$
	Zanclus 25	$7,7 \pm 0,8$
Centre du lagon	Labre 32	$7,6 \pm 0,8$
	Pieuvre 27	$9 \pm 0,9$
	Umbre 24	$9,5 \pm 0,9$
Moyenne		$8,7 \pm 0,7$

La moyenne calculée est de  $9,1 \pm 0,4 \text{ Bq.kg}^{-1}$  sur les 97 échantillons prélevés depuis 1989. L'intervalle de probabilité 99,7 % [3,5 ; 14,7]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats (Fig. IV.25.). Les valeurs en 2010 qui varient entre 6,8 et 9,9  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sont comprises dans cet intervalle.

**Figure IV.25. : Evolution de l'activité massique en  $^{40}\text{K}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.**

### *Famille naturelle de l'Uranium 238*

Le tableau IV.10. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

**Tableau IV.16. : Activité massique des  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ échantillon sec)		
		$^{234}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$ ( $^{214}\text{Pb}$ )	$^{210}\text{Pb}$
Pourtour du lagon	Aprion 06	$26,9 \pm 2,1$	$1,6 \pm 0,2$	$20,7 \pm 4,6$
	Gorgone 05	$33,3 \pm 2,2$	$4,6 \pm 0,4$	$66,3 \pm 8,7$
	Janie 32	$30,4 \pm 2,1$	$2,5 \pm 0,2$	$9,3 \pm 3,2$
	Orque 41	$22,8 \pm 1,6$	$7,9 \pm 0,6$	$20,9 \pm 5,6$
	Scalaire 15	$29,8 \pm 2,2$	$8,5 \pm 0,7$	$20,9 \pm 6,5$
	Zanclus 25	$27,7 \pm 2,1$	$1,6 \pm 0,2$	$19,4 \pm 4,9$
Centre du lagon	Labre 32	$31,9 \pm 2,6$	$34 \pm 2,1$	$33,8 \pm 6,9$
	Pieuvre 27	$29,1 \pm 2,1$	$8,5 \pm 0,6$	$17,6 \pm 4,6$
	Umbre 24	$24,7 \pm 1,8$	$4,3 \pm 0,3$	$21,4 \pm 5,2$
Moyenne		$28,5 \pm 2,2$	$5,1 *$	$22,3 *$

\* *Moyenne géométrique*

Les figures IV.26., IV.27. et IV.28. présentent l'évolution de l'activité depuis 1989 dans les sédiments superficiels de trois radionucléides ( $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$ ), émetteurs  $\gamma$  de la famille naturelle de l'uranium 238.

Depuis 1989, 97 échantillons ont été prélevés.

Pour le  $^{234}\text{Th}$ , la moyenne, calculée sur les échantillons prélevés depuis 1989, est de  $27,9 \pm 0,84 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [15,6 ; 40]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 22,8 et 33,3  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sont comprises dans cet intervalle.

L'activité du  $^{226}\text{Ra}$  est toujours hétérogène. La moyenne géométrique, calculée sur les échantillons prélevés depuis 1989, est de  $3,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,2 ; 49]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 1,5 et 34  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sont comprises dans cet intervalle.

L'activité des sédiments en  $^{210}\text{Pb}$  est aussi très hétérogène. La moyenne géométrique, calculée sur les échantillons prélevés depuis 1989, est de  $26,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [4 ; 173]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 9,3 et 67  $\text{Bq.kg}^{-1}$  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  $^{226}\text{Ra}$  ; les activités du  $^{226}\text{Ra}$  sont, en général, près de 10 fois plus faibles que celles du  $^{234}\text{Th}$ . 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 ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ) et le radium ( $^{226}\text{Ra}$ ) sont solubles, alors que leurs descendants, thorium ( $^{234}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ) ou plomb ( $^{210}\text{Pb}$ ), très peu solubles et très réactifs, sont très rapidement entraînés vers le fond du lagon par les particules microscopiques d'origine biologique.

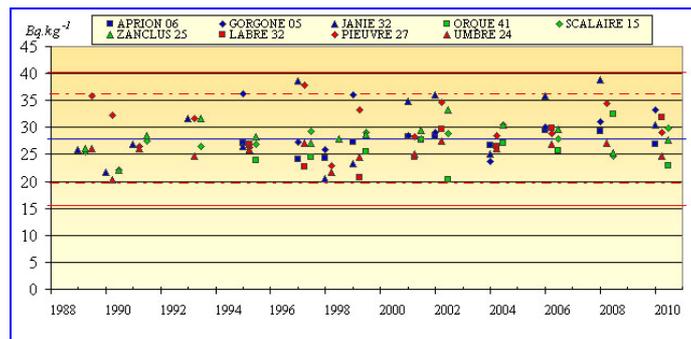


Figure IV.26. : Evolution de l'activité massique en  $^{234}\text{Th}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

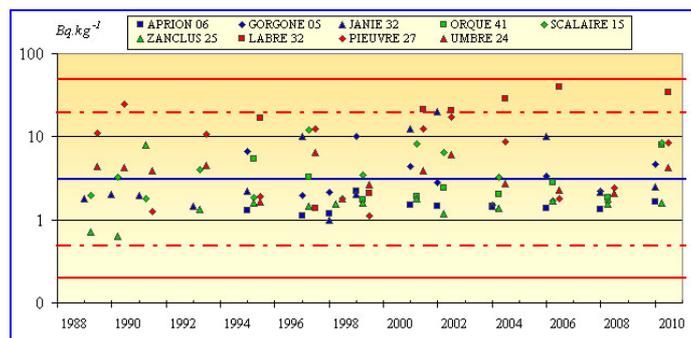


Figure IV.27. : Evolution de l'activité massique en  $^{226}\text{Ra}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

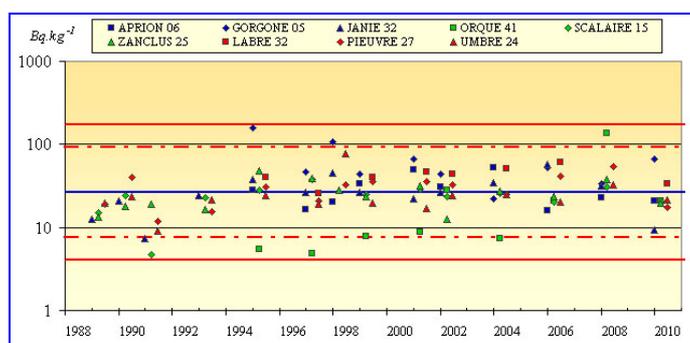


Figure IV.28. : Evolution de l'activité massique en  $^{210}\text{Pb}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

### Uranium 235

Le tableau IV.17. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

Tableau IV.17. : Activité massique en  $^{235}\text{U}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa pour 2010.

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ échantillon sec)
Pourtour du lagon	Aprion 06	$1 \pm 0,2$
	Gorgone 05	$1,3 \pm 0,2$
	Janie 32	$1,5 \pm 0,4$
	Orque 41	$0,9 \pm 0,2$
	Scalaire 15	$1,2 \pm 0,2$
	Zancclus 25	$1,1 \pm 0,2$
Centre du lagon	Labre 32	$1,4 \pm 0,2$
	Pieuvre 27	$1,2 \pm 0,2$
	Umbre 24	$1,1 \pm 0,3$
Moyenne		$1,2 \pm 0,1$

La figure IV.29. présente l'évolution depuis 1989 de l'activité massique des sédiments superficiels en  $^{235}\text{U}$ .

Pour l'uranium 235, la moyenne est de  $1,41 \pm 0,05 \text{ Bq.kg}^{-1}$  calculée sur les 97 prélèvements effectués depuis 1989. L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,62 ; 2,21] \text{ Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010, qui varient entre 0,9 et  $1,48 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , sont comprises dans cet intervalle.

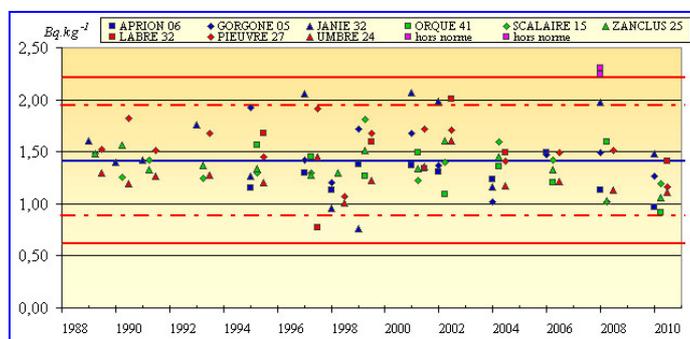


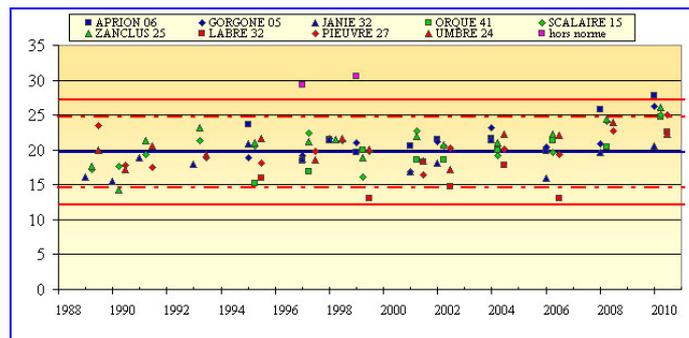
Figure IV.29. : Evolution de l'activité massique en  $^{235}\text{U}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

### Rapport Thorium 234 sur Uranium 235

Les activités massiques mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le  $^{234}\text{Th}$  (Tableau IV.18.). On peut en conclure qu'il y a un équilibre radioactif entre  $^{238}\text{U}$  et son descendant  $^{234}\text{Th}$  dans les sédiments, puisque le rapport en activité ( $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ ) est de l'ordre de 20 pour l'uranium naturel. La figure IV.30. présente les rapports en activité ( $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ ) obtenus depuis 1989.

**Tableau IV.18. : Rapport en activité ( $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ ) dans les sédiments du lagon de Mururoa pour 2010.**

Zones	Lieux	$^{234}\text{Th} / ^{235}\text{U}$
Pourtour du lagon	Aprion 06	27,7 ± 6,1
	Gorgone 05	26,2 ± 4,1
	Janie 32	20,5 ± 5,5
	Orque 41	25 ± 3,8
	Scalaire 15	22,6 ± 4,1
	Zanclus 25	25 ± 3,8
Centre du lagon	Labre 32	24,8 ± 5,2
	Pieuvre 27	26,1 ± 4,6
	Umbre 24	25,1 ± 4,1
Moyenne		24,8 ± 1,4



**Figure IV.30. : Rapport en activité ( $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ ) des sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.**

Sur l'ensemble des 97 valeurs du rapport en activité ( $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ ) calculées depuis 1989 (sans les valeurs hors normes), la moyenne est de  $19,4 \pm 0,5$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [12,1 ; 27,2]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. A l'exception du rapport calculé pour Aprion 06 (27,8), les autres valeurs 2010 qui varient entre 20,5 et 26,2  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sont comprises dans cet intervalle.

### Famille naturelle du thorium 232

L'activité dans les sédiments de lagon, ayant pour origine la famille naturelle du  $^{232}\text{Th}$  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  $^{228}\text{Ac}$ , radionucléide émetteur  $\gamma$  faisant partie de la famille naturelle du  $^{232}\text{Th}$  (Tableau IV.19.).

**Tableau IV.19. : Activité massique en  $^{232}\text{Th}$  ( $^{228}\text{Ac}$ ) dans les sédiments du lagon de Mururoa pour 2010.**

Zones	Lieux	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> échantillon sec)
Pourtour du lagon	Aprion 06	≤ 0,4
	Gorgone 05	≤ 0,3
	Janie 32	≤ 0,3
	Orque 41	≤ 0,4
	Scalaire 15	≤ 0,4
	Zanclus 25	≤ 0,3
Centre du lagon	Labre 32	≤ 0,5
	Pieuvre 27	≤ 0,4
	Umbre 24	≤ 0,3

### *Radioactivité d'origine artificielle*

La radioactivité d'origine artificielle des sédiments des fonds des lagons n'est pas répartie de façon uniforme. Elle est fonction de la position du point de prélèvement par rapport aux anciens points zéro des essais aériens.

### *Cobalt 60, Antimoine 125, Césium 137, Europium 155, Strontium 90*

Le tableau IV.20. regroupe les résultats obtenus pour les quatre premiers radionucléides aux 9 emplacements prévus.

**Tableau IV.20. : Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup>) en  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{155}\text{Eu}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa pour 2010.**

Zones	Lieux	$^{60}\text{Co}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	$^{125}\text{Sb}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	$^{155}\text{Eu}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)
Pourtour du lagon	Aprion 06	≤ 0,13	≤ 0,4	≤ 0,11	≤ 0,28
	Gorgone 05	0,08 ± 0,05	≤ 0,31	0,14 ± 0,08	0,34 ± 0,11
	Janie 32	≤ 0,09	≤ 0,26	≤ 0,08	≤ 0,24
	Orque 41	≤ 0,11	≤ 0,37	≤ 0,11	1,29 ± 0,74
	Scalaire 15	≤ 0,13	≤ 0,39	≤ 0,12	≤ 0,34
	Zanclus 25	≤ 0,09	≤ 0,3	≤ 0,09	≤ 0,26
Centre du lagon	Labre 32	≤ 0,15	≤ 0,52	≤ 0,16	≤ 0,38
	Pieuvre 27	≤ 0,12	≤ 0,37	≤ 0,12	0,26 ± 0,1
	Umbre 24	≤ 0,11	≤ 0,32	≤ 0,1	0,3 ± 0,11

Comme les années précédentes, la mesure de l'activité massique en  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{125}\text{Sb}$  et  $^{137}\text{Cs}$  a donné des résultats inférieurs ou proches des limites de détection. Les valeurs  $^{155}\text{Eu}$  sont identiques aux valeurs habituellement trouvées, la valeur en Orque 41 est toujours légèrement supérieure aux limites de détection.

### *Strontium 90*

Les mesures en  $^{137}\text{Cs}$  étant inférieure à 1 Bq.kg<sup>-1</sup>, aucune analyse  $^{90}\text{Sr}$  n'a été effectuée sur les prélèvements de sédiments.

### *Américium 241*

Le tableau IV.21. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

**Tableau IV.21. : Activité massique en  $^{241}\text{Am}$  dans les sédiments du lagon de Mururoa pour 2010.**

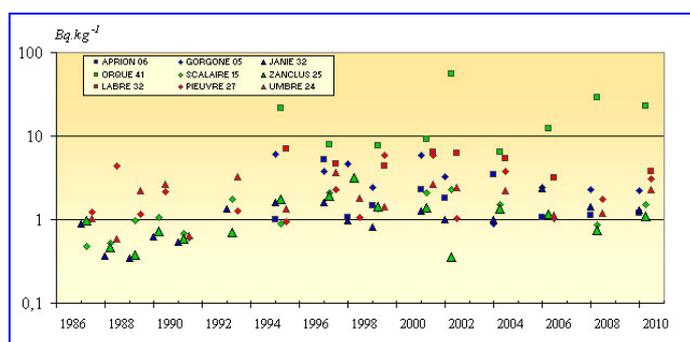
Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ )
Pourtour du lagon	Aprion 06	$1,2 \pm 0,2$
	Gorgone 05	$2,2 \pm 0,3$
	Janie 32	$1,3 \pm 0,3$
	Orque 41	$22,8 \pm 1,6$
	Scalaire 15	$1,5 \pm 0,2$
	Zanclus 25	$1,1 \pm 0,2$
Centre du lagon	Labre 32	$3,8 \pm 0,5$
	Pieuvre 27	$3 \pm 0,3$
	Umbre 24	$2,3 \pm 0,3$

\* *Moyenne géométrique*

Les valeurs en 2010 sont du même ordre de grandeur que celles obtenues les années précédentes.

La figure IV.31. présente l'évolution de l'activité massique dans les sédiments superficiels de l' $^{241}\text{Am}$  depuis 1987.

En ORQUE 41 (carrés verts), les valeurs se situent dans la fourchette supérieure. En JANIE 32 (Passe : triangles bleus) et ZANCLUS 25 (Fond du lagon : triangles verts), les valeurs sont généralement plus faibles.



**Figure IV.31. : Evolution de l'activité massique en  $^{241}\text{Am}$  dans les sédiments du lagon à Mururoa depuis 1988.**

### *Les isotopes du plutonium*

Le tableau IV.22. regroupe les résultats obtenus pour les 9 emplacements.

**Tableau IV.22. : Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$ , ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) et rapport  $^{238}\text{Pu}/(^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$  dans les sédiments de surface du lagon de Mururoa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ )		$^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$
		$^{238}\text{Pu}$	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	
Pourtour du lagon	Aprion 06	$2,2 \pm 0,2$	$17,6 \pm 1,6$	$0,12 \pm 0,02$
	Gorgone 05	$5,3 \pm 0,6$	$43,1 \pm 4,3$	$0,12 \pm 0,02$
	Janie 32	$2,1 \pm 0,3$	$20,2 \pm 2$	$0,1 \pm 0,02$
	Orque 41	$55,6 \pm 5,4$	$421 \pm 41$	$0,13 \pm 0,02$
	Scalaire 15	$6,3 \pm 0,6$	$29,1 \pm 2,4$	$0,22 \pm 0,03$
	Zanclus 25	$4,7 \pm 0,6$	$22,9 \pm 2,4$	$0,2 \pm 0,03$
Centre du lagon	Labre 32	$7,5 \pm 1,1$	$47,4 \pm 6,6$	$0,16 \pm 0,03$
	Pieuvre 27	$11,6 \pm 1,2$	$54,1 \pm 5,4$	$0,21 \pm 0,03$
	Umbre 24	$10,8 \pm 1$	$48,7 \pm 4,5$	$0,22 \pm 0,03$

\* *Moyenne géométrique*

Les figures IV.32. et IV.33. présentent les activités dans les sédiments superficiels en  $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  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.

La figure IV.34. présentent les rapports ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) calculés depuis 1987. En 2010, le rapport moyen est de 0,16. Il est plus faible que celui observé pour les sédiments du lagon de Fangataufa (environ 0,35).

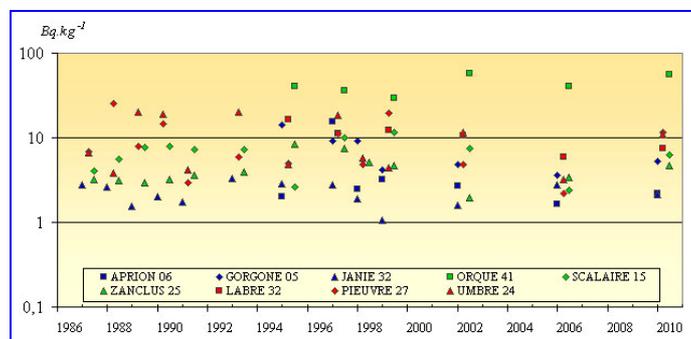


Figure IV.32. : Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  dans les sédiments de surface du lagon de Mururoa depuis 1987.

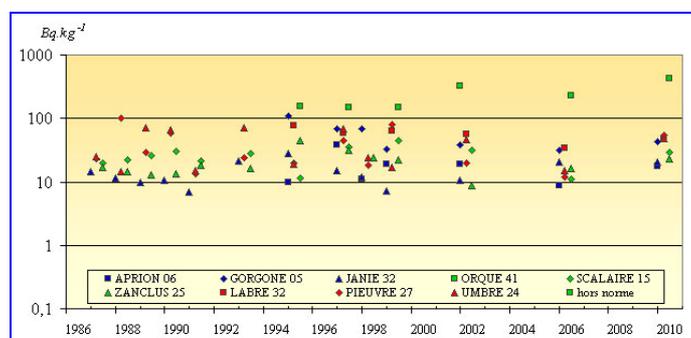


Figure IV.33. : Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) dans les sédiments de surface du lagon de Mururoa depuis 1987.

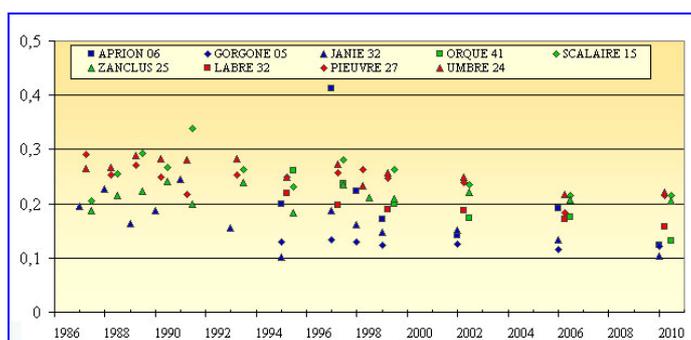


Figure IV.34. : Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1987.

### Récapitulatif

Les figures IV.35. et IV.36. présentent respectivement les activités des principaux radionucléides naturels ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{235}\text{U}$ ) et artificiels ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$  et  $^{241}\text{Am}$ ) détectés dans les sédiments du lagon de Mururoa.

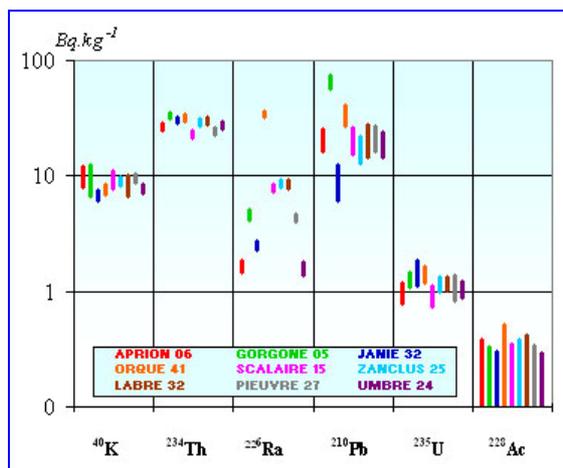


Figure IV.35. : Activité naturelle dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2010.

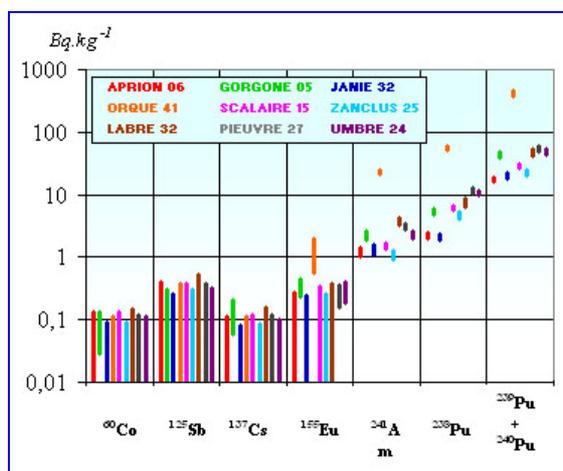


Figure IV.36. : Activité artificielle dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2010.

Les valeurs en Orque 41 sont systématiquement au dessus des autres valeurs pour l'américium 241 et les plutoniums.

#### IV.2.2.2. - L'atoll de FANGATAUFA

##### *Radioactivité d'origine naturelle*

##### *Potassium 40*

Le tableau IV.23. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Tableau IV.23. : Activité massique en  $^{40}\text{K}$  dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ )
Pourtour du lagon	Cérithé 27	$7,7 \pm 0,8$
	Limnée 35	$7,9 \pm 0,8$
	Mitre 09	$5,5 \pm 1,4$
	Troque 13	$5,3 \pm 1,4$
Centre du lagon	Mitre 26	$8,1 \pm 0,9$
Moyenne		$6,9 \pm 0,9$

La figure IV.37. présente l'évolution de l'activité en  $^{40}\text{K}$  dans les sédiments superficiels depuis 1995.

Sur les 40 échantillons prélevés depuis 1995, la moyenne calculée est de  $7,7 \pm 0,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,5; 14,9]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs en 2010 qui varient entre 5,3 et 8,1  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sont comprises dans cet intervalle.

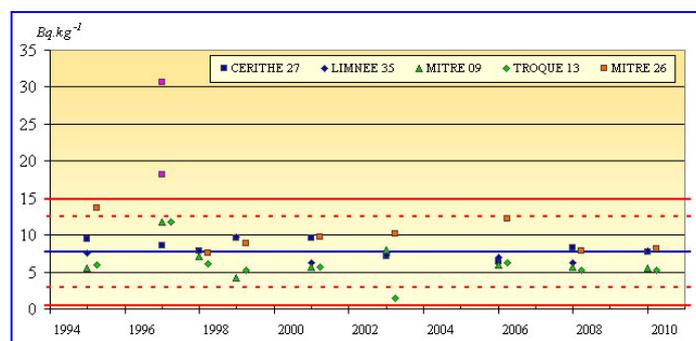


Figure IV.37. : Evolution de l'activité massique en  $^{40}\text{K}$  dans les sédiments du lagon à Fangataufa depuis 1995.

### Famille naturelle de l'Uranium 238

Le tableau IV.24. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

Tableau IV.24. : Activité massique en  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$  dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ échantillon sec)		
		$^{234}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$ ( $^{214}\text{Pb}$ )	$^{210}\text{Pb}$
Pourtour du lagon	Cérithé 27	$33,2 \pm 2,4$	$1,2 \pm 0,2$	$14,4 \pm 2,8$
	Limnée 35	$31,9 \pm 2,6$	$1,5 \pm 0,2$	$7,7 \pm 2,2$
	Mitre 09	$39,2 \pm 2,8$	$1,4 \pm 0,3$	$5,8 \pm 1,1$
	Troque 13	$36,3 \pm 2,6$	$1,4 \pm 0,3$	$4 \pm 0,9$
Centre du lagon	Mitre 26	$34,2 \pm 2,3$	$18,9 \pm 1,2$	$36,2 \pm 6,1$
Moyenne		$35 \pm 1,9$	<b>2,3 *</b>	<b>9,9 *</b>

\* *Moyenne géométrique*

Les figures IV.38., IV.39. et IV.40. présentent l'évolution de l'activité massique depuis 1995 dans les sédiments superficiels pour les trois radionucléides ( $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$ ), émetteurs  $\gamma$  de la famille naturelle de l'uranium 238.

Pour le  $^{234}\text{Th}$ , la moyenne calculée est de  $35,5 \pm 1,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$  sur les 40 échantillons prélevés depuis 1995. L'intervalle de probabilité 99,7 % [17,5 ; 53,6]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 31,9 et 39,2  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sont comprises dans cet intervalle.

L'activité du  $^{226}\text{Ra}$  est toujours hétérogène. La moyenne géométrique est de  $1,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$  calculée sur les 40 échantillons prélevés depuis 1995. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,1 ; 26]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 1,2 et 18,9  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sont comprises dans cet intervalle. Les valeurs de Mitre 26 sont généralement plus forte que les autres.

L'activité dans les sédiments en  $^{210}\text{Pb}$  est aussi très hétérogène. La moyenne géométrique est de  $15,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$  calculée sur les 40 échantillons prélevés depuis 1995.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [1,7 ; 151] Bq.kg<sup>-1</sup> traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 4 et 36,2 Bq.kg<sup>-1</sup> sont comprises dans cet intervalle.

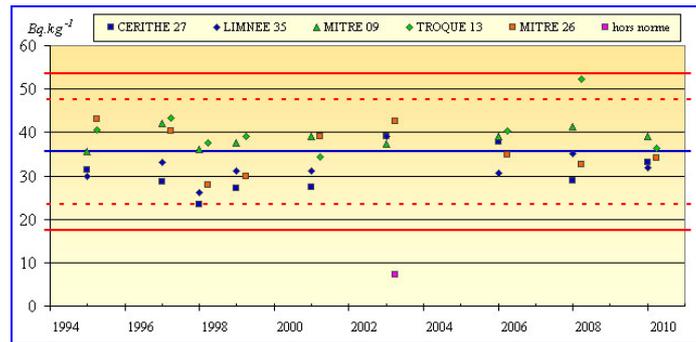


Figure IV.38. : Evolution de l'activité massique en <sup>234</sup>Th dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

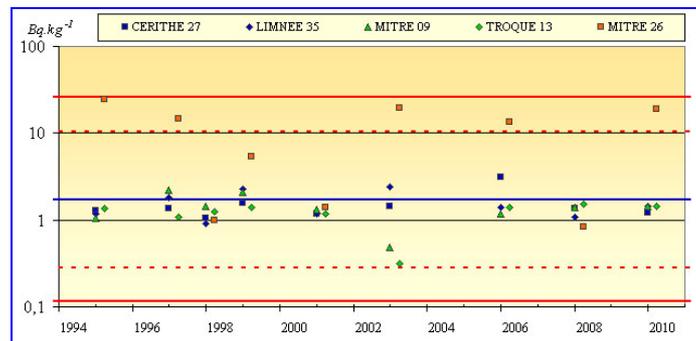


Figure IV.39. : Evolution de l'activité massique en <sup>226</sup>Ra dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

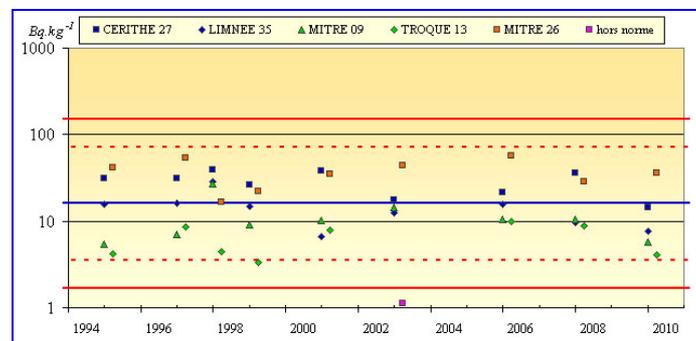


Figure IV.40. : Evolution de l'activité massique en <sup>210</sup>Pb dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

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 <sup>226</sup>Ra ; les activités du <sup>226</sup>Ra sont, en général, près de 10 fois plus faibles que celles du <sup>234</sup>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 (<sup>238</sup>U, <sup>234</sup>U) et le radium (<sup>226</sup>Ra) sont solubles, alors que leurs descendants thorium (<sup>234</sup>Th, <sup>230</sup>Th) ou plomb (<sup>210</sup>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

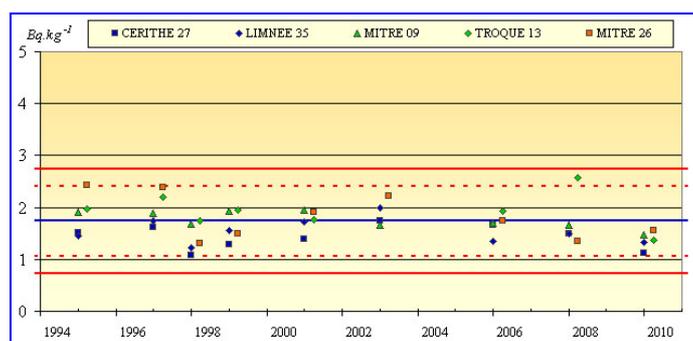
Le tableau IV.25. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

**Tableau IV.25. : Activité massique en  $^{235}\text{U}$  dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.**

Zones	Lieux	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ échantillon sec)
Pourtour du lagon	Cérithé 27	$1,1 \pm 0,2$
	Limnée 35	$1,3 \pm 0,2$
	Mitre 09	$1,5 \pm 0,2$
	Troque 13	$1,4 \pm 0,2$
Centre du lagon	Mitre 26	$1,6 \pm 0,2$
Moyenne		$1,4 \pm 0,1$

La figure IV.41. présente l'évolution depuis 1995 de l'activité des sédiments superficiels en  $^{235}\text{U}$ .

Pour l'uranium 235, la moyenne est de  $1,7 \pm 0,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$  calculée sur les 40 prélèvements effectués depuis 1995. L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,7 ; 2,7] \text{ Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 1,1 et 1,6  $\text{Bq.kg}^{-1}$ , sont comprises dans cet intervalle.

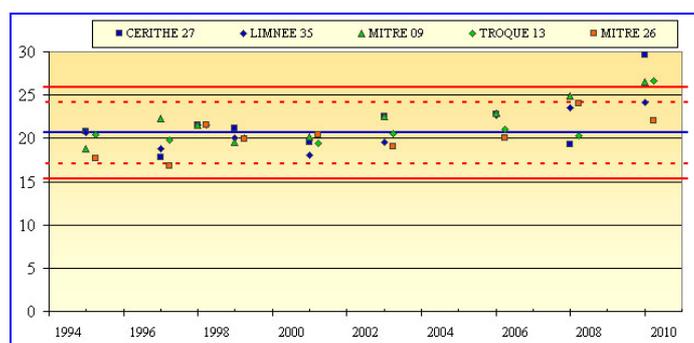


**Figure IV.41. : Evolution de l'activité massique en  $^{235}\text{U}$  dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.**

Les activités mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le  $^{234}\text{Th}$  (Tableau IV.26.). On peut en conclure qu'il y a un équilibre radioactif entre  $^{238}\text{U}$  et son descendant  $^{234}\text{Th}$  dans les sédiments, puisque le rapport des activités  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$  est de l'ordre de 20 pour l'uranium naturel. La figure IV.42. présente les rapports des activités  $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$  obtenus depuis 1995.

**Tableau IV.26. : Rapport en activité ( $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ ) dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.**

Zones	Lieux	$^{234}\text{Th} / ^{235}\text{U}$
Pourtour du lagon	Cérithé 27	$29,6 \pm 4,5$
	Limnée 35	$24,2 \pm 3,5$
	Mitre 09	$26,5 \pm 3,4$
	Troque 13	$26,7 \pm 3,7$
Centre du lagon	Mitre 26	$22,1 \pm 3,5$
Moyenne		$25,8 \pm 1,9$



**Figure IV.42. : Rapport en activité ( $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ ) des sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.**

Sur l'ensemble des 40 valeurs du rapport en activité ( $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ ) calculées depuis 1995 (sans les valeurs hors normes), la moyenne est de  $20,6 \pm 0,6$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [15,3 ; 26] traduit la dispersion des résultats. A l'exception des valeurs de Cérithée 27 (29,6), Troque 13 (26,7) et Mitre 09 (26,5) les autres valeurs 2010 (22,1 et 24,2) sont comprises dans cet intervalle.

#### ***Famille naturelle du thorium 232***

La radioactivité des sédiments de lagon, ayant pour origine la famille naturelle du  $^{232}\text{Th}$  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  $^{228}\text{Ac}$ , radionucléide émetteur  $\gamma$  faisant partie de la famille naturelle du  $^{232}\text{Th}$  (Tableau IV.27.).

**Tableau IV.27. : Activité massique en  $^{232}\text{Th}$  ( $^{228}\text{Ac}$ ) dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.**

Zones	Lieux	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> échantillon sec)
Pourtour du lagon	Cérithée 27	$\leq 0,27$
	Limnée 35	$\leq 0,27$
	Mitre 09	$\leq 0,29$
	Troque 13	$\leq 0,3$
Centre du lagon	Mitre 26	$\leq 0,46$

#### ***Radioactivité d'origine artificielle***

La radioactivité d'origine artificielle des sédiments des fonds des lagons n'est pas répartie de façon uniforme. Elle est fonction de la position du point de prélèvement par rapport aux anciens points zéro des essais aériens.

#### ***Cobalt 60, Antimoine 125, Césium 137, Europium 155, Strontium 90***

Le tableau IV.28. regroupe les résultats obtenus pour les quatre premiers radionucléides aux 5 emplacements prévus.

**Tableau IV.28. : Activité massique en  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{155}\text{Eu}$  dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.**

Zones	Lieux	$^{60}\text{Co}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	$^{125}\text{Sb}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	$^{137}\text{Cs}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	$^{155}\text{Eu}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)
Pourtour du lagon	Cérithé 27	≤ 0,1	≤ 0,28	≤ 0,08	≤ 0,21
	Limnée 35	0,08 ± 0,02	≤ 0,25	≤ 0,08	0,79 ± 0,12
	Mitre 09	0,17 ± 0,03	≤ 0,27	0,06 ± 0,02	≤ 0,25
	Troque 13	0,15 ± 0,02	≤ 0,28	≤ 0,09	1,02 ± 0,41
Centre du lagon	Mitre 26	0,25 ± 0,05	≤ 0,45	0,32 ± 0,05	1,91 ± 0,53

Comme les années précédentes, la mesure de l'activité du  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{155}\text{Eu}$  n'a pas donné de résultats significatifs (résultats inférieurs ou proches des limites de détection).

### *Strontium 90*

Les mesures en  $^{137}\text{Cs}$  étant inférieure à 1 Bq.kg<sup>-1</sup>, aucune analyse  $^{90}\text{Sr}$  n'a été effectuée sur les prélèvements de sédiments.

### *Américium 241*

Le tableau IV.29. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

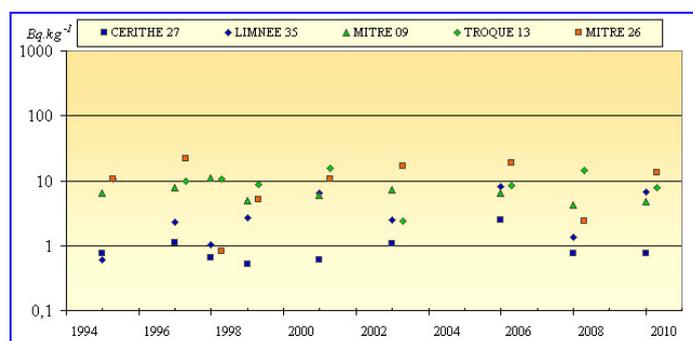
**Tableau IV.29. : Activité massique en  $^{241}\text{Am}$  dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.**

Zones	Lieux	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Pourtour du lagon	Cérithé 27	0,8 ± 0,1
	Limnée 35	6,7 ± 0,6
	Mitre 09	4,8 ± 0,5
	Troque 13	7,9 ± 0,6
Centre du lagon	Mitre 26	13,5 ± 1,1

\* *Moyenne géométrique*

Les valeurs en 2010 sont du même ordre de grandeur que celles obtenues les années précédentes.

La figure IV.43. présente l'évolution de l'activité massique dans les sédiments superficiels en  $^{241}\text{Am}$  depuis 1995.



**Figure IV.43. : Evolution de l'activité massique en  $^{241}\text{Am}$  dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.**

### Isotopes du plutonium

Le tableau IV.30. regroupe les résultats obtenus pour les 5 emplacements.

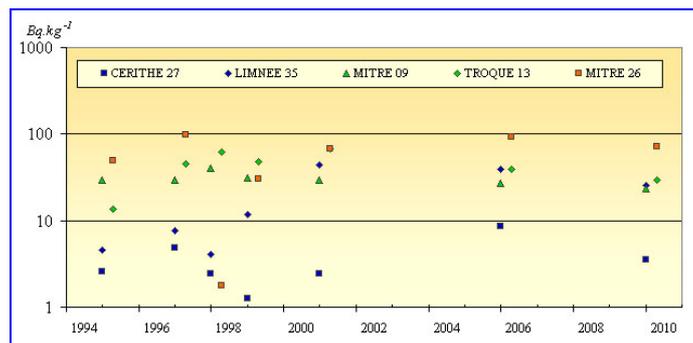
**Tableau IV.30. : Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$ , ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) et le rapport  $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$  dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2010.**

Zones	Lieux	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)		$^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$
		$^{238}\text{Pu}$	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	
Pourtour du lagon	Cérithé 27	3,5 ± 0,3	12 ± 1,1	0,29 ± 0,04
	Limnée 35	25,3 ± 3,7	70,1 ± 9,4	0,36 ± 0,07
	Mitre 09	23,6 ± 6	75 ± 18	0,31 ± 0,11
	Troque 13	29,4 ± 4,7	90 ± 13	0,33 ± 0,07
Centre du lagon	Mitre 26	72,6 ± 8	201 ± 22	0,36 ± 0,06

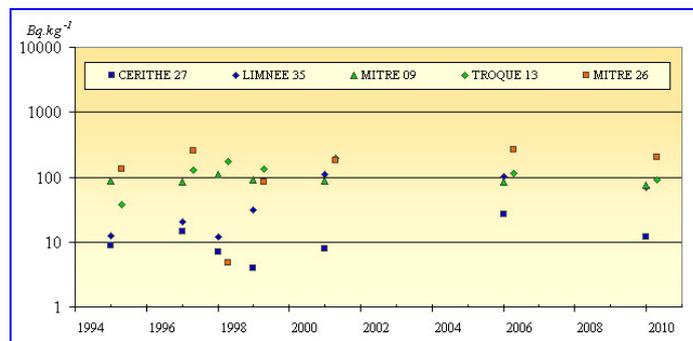
\* *Moyenne géométrique*

Compte tenu de l'hétérogénéité habituellement rencontrée dans la radioactivité des sédiments, les valeurs mesurées en 2010 sont sensiblement équivalentes à celles obtenues les années précédentes.

Les figures IV.44. et IV.45. présentent les activités dans les sédiments superficiels en  $^{238}\text{Pu}$  et en  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  depuis 1995.



**Figure IV.44. : Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  dans les sédiments de surface du lagon de Fangataufa depuis 1995.**



**Figure IV.45. : Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) dans les sédiments de surface du lagon de Fangataufa depuis 1995.**

La figure IV.46. présentent les rapports  $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$  calculés depuis 1987. Le rapport moyen en 2010 est de  $0,34 \pm 0,03$ . Il est un peu plus élevé que celui observé pour les sédiments du lagon de Mururoa (environ 0,2).

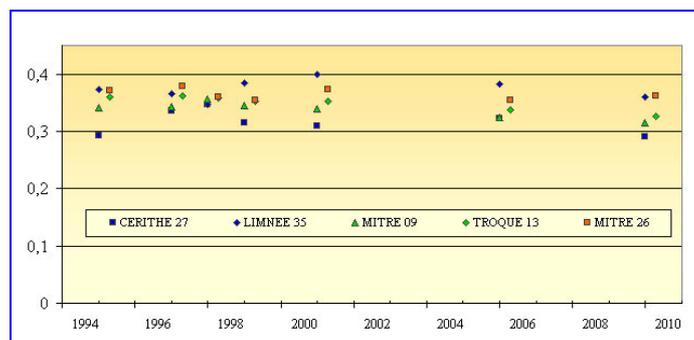


Figure IV.46. : Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) dans les sédiments de surface du lagon de Fangataufa depuis 1995.

### Récapitulatif

Les figures IV.37. et IV.38. présentent respectivement les activités des principaux radionucléides naturels ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{235}\text{U}$ ) et artificiels ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) détectés dans les sédiments du lagon de Fangataufa en 2010.

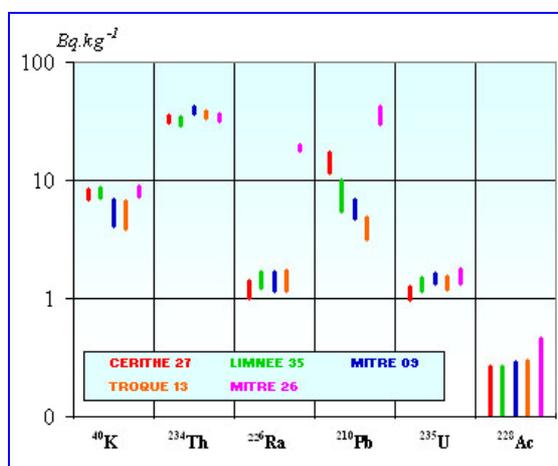


Figure IV.47. : Activité naturelle dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

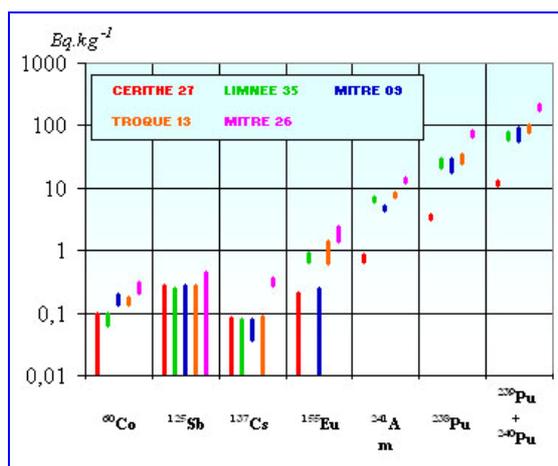


Figure IV.48. : Activité artificielle dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

### IV.3. - LE PLANCTON

Le plancton désigne un ensemble d'organismes animaux (zooplancton : copépodes...) et végétaux (phytoplancton : diatomées...). Ces organismes de petite taille vivent en pleine eau et ont une capacité natatoire très faible voire nulle. D'un prélèvement à l'autre, il peut y avoir une variation des espèces planctoniques et du nombre de particules, sédimentaires et organiques, collectés par les filets à plancton.

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

La récolte du plancton est récolté à l'aide de deux ou trois filets tractés au moyen d'une embarcation légère à vitesse réduite. Chaque filet cylindro-conique de grande taille est composé de tissu nylon à mailles dégressives. L'extrémité du filet est munie d'un collecteur en P.V.C. 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. 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 puis égouttée sur papier absorbant durant trois heures. Les filets sont susceptibles de ramasser aussi des déchets d'origines diverses et des particules sédimentaires.

Chaque année, un prélèvement est réalisé à Mururoa et à Fangataufa.

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie  $\gamma$ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.



**Mise à l'eau des filets à plancton.**

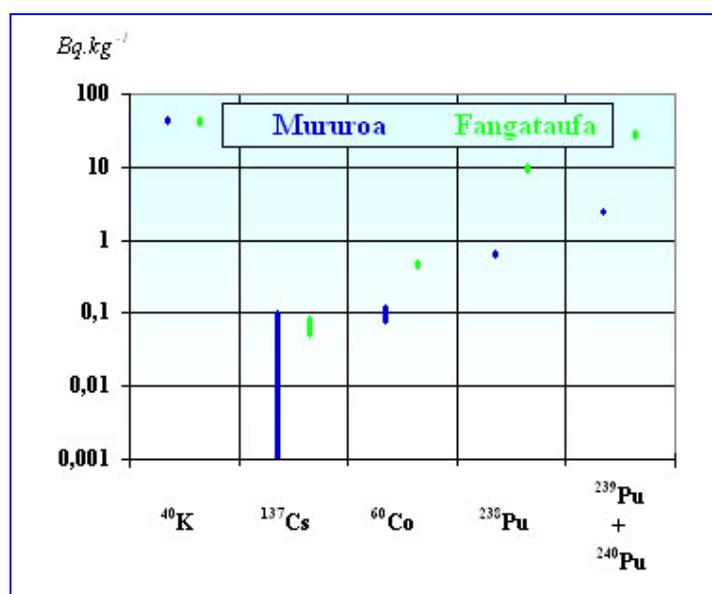
La version 2009 du « guide de surveillance radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa » précise que la mesure du strontium 90 ne sera réalisée que si la mesure du césium 137 est supérieure à  $1 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de plancton.

### IV.3.2. - LA RADIOACTIVITE DU PLANCTON

Le tableau IV.31. et la figure IV.49. présentent les résultats de l'échantillon prélevé en 2010.

**Tableau IV.31. - Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup>) du plancton du lagon de Mururoa et de Fangataufa en 2010.**

Lieux	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Mururoa	05/05/2010	43,1 ± 3,1	≤ 0,1	0,1 ± 0,03	0,63 ± 0,037	2,45 ± 0,12
Fangataufa	17/05/2010	41,6 ± 3,5	0,068 ± 0,018	0,46 ± 0,05	9,61 ± 0,88	28,1 ± 2,6



**Figure IV.49. - Activité massique du plancton du lagon de Mururoa et de Fangataufa en 2010.**

#### *Radioactivité d'origine naturelle*

##### *Potassium 40*

Le potassium 40 est systématiquement détecté dans les échantillons. La moyenne des valeurs, calculée sur les 266 échantillons prélevés 1988, est de 13 Bq.kg<sup>-1</sup>. La radioactivité <sup>40</sup>K mesurée à Mururoa et à Fangataufa est au niveau de celles mesurées les années précédentes.

#### **IV.3.2.1. - L'atoll de Mururoa**

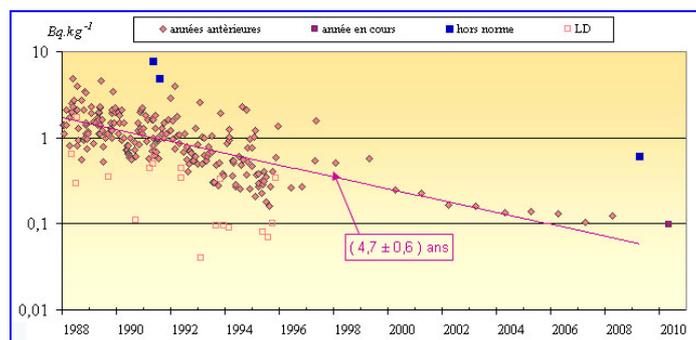
#### *Radioactivité d'origine artificielle*

##### *Césium 137 et strontium 90*

La valeur 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<sup>-1</sup>). Les résultats en césium 137 étant inférieur à 1 Bq.kg<sup>-1</sup>, le strontium 90 n'a pas été analysé.

### Cobalt 60

La figure IV.50. présente l'évolution de la radioactivité en cobalt 60 du plancton du lagon de Mururoa depuis 1988.

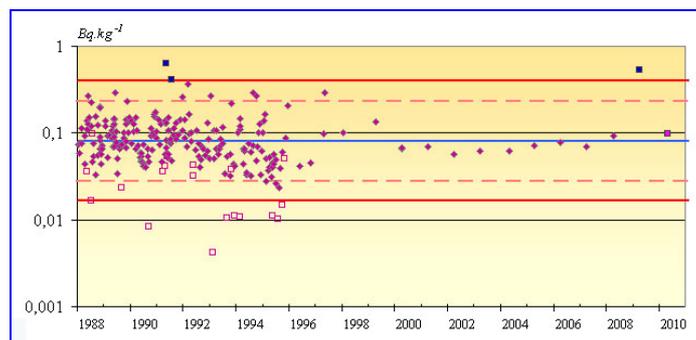


**Figure IV.50. : Évolution de l'activité massique en  $^{60}\text{Co}$  du plancton des lagons de Mururoa depuis 1988.**

A Mururoa, l'activité en  $^{60}\text{Co}$  diminue selon une période apparente de  $4,7 \pm 0,6$  ans voisine de sa période radioactive (5,27 ans).

À l'aide de la période du cobalt 60, les valeurs mesurées sur les 231 échantillons pris en compte depuis 1988 sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure IV.51. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,08 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,017 ; 0,4]$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 ( $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.



**Figure IV.51. - Activité massique en  $^{60}\text{Co}$  du plancton du lagon à Mururoa. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### Plutonium 238

À l'aide de la période radioactive du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les 225 échantillons pris en compte depuis 1988 sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010. Les valeurs inférieures aux limites de détection sont extraites de la population (carrés bruns sans couleur de fond).

La figure IV.52. donne, l'évolution de ces valeurs, elles présentent une décroissance avec une période de 5,4 ans (sans la décroissance du plutonium 238, cette période est de 6,3 ans, cf. synthèse 2010).

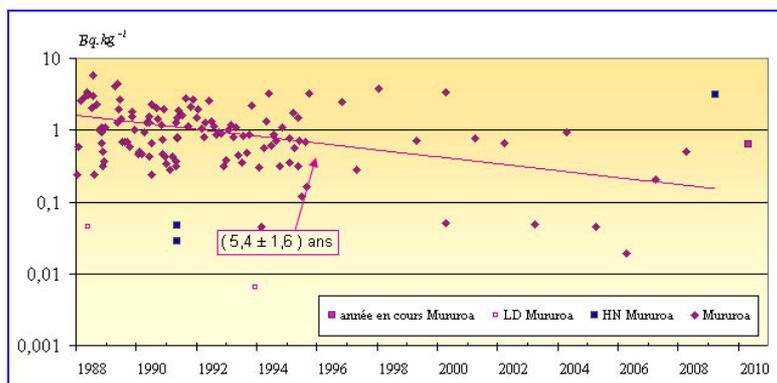


Figure IV.52. - Évolution de l'activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  du plancton du lagon à Mururoa.

À l'aide de cette période, les valeurs sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010. La moyenne géométrique de cette population est de  $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,004 ; 1,8]$  traduit la dispersion des valeurs, la valeur 2010 ( $0,63 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle. La figure IV.53. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence.

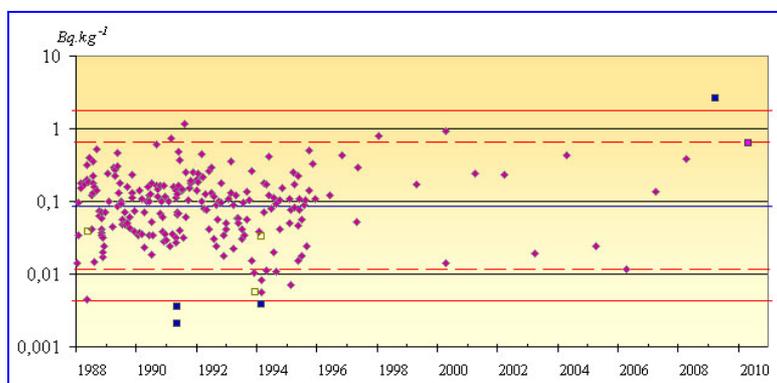


Figure IV.53. - Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  du plancton du lagon à Mururoa. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### Plutonium 239 + plutonium 240

La figure IV.54. montre l'évolution des activités en plutonium 239 + plutonium 240. Les valeurs présentent une décroissance avec une période de 5,2 ans, similaire à celle déjà constatée pour le plutonium 238.

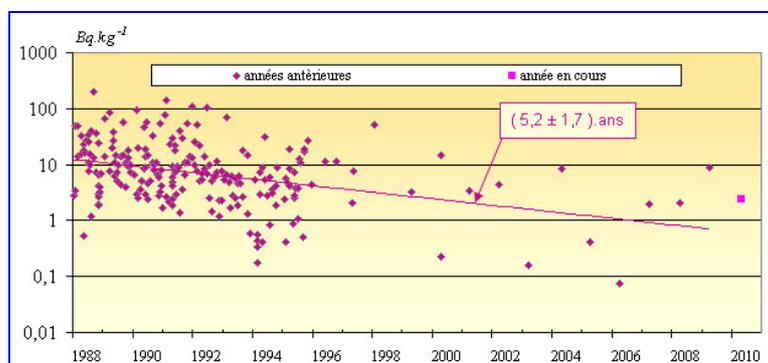


Figure IV.54. - Évolution de l'activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) du plancton du lagon à Mururoa.

À l'aide de cette période les valeurs mesurées, sur l'ensemble des 227 échantillons prélevés depuis 1988, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010. La moyenne géométrique est de

0,63 Bq.kg<sup>-1</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,02 ; 22,4] traduit la dispersion des résultats (Figure IV.55.). La valeur 2010 (2,5 Bq.kg<sup>-1</sup>) est comprise dans cet intervalle.

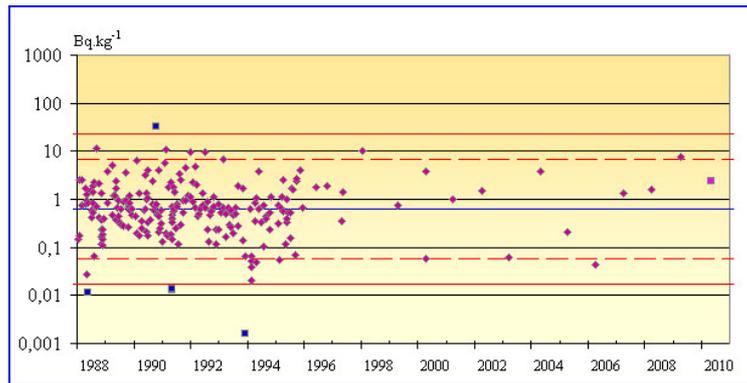


Figure IV.55. - Activité des (<sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu) du plancton du lagon à Mururoa (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

#### ***Rapport plutonium 238 / plutonium 239 + plutonium 240***

La valeur calculée en 2010 est de 0,26 ± 0,02.

Actuellement, les prélèvements ont lieu dans une zone qui englobe les zones anciennes zone sud et est. Sur les 130 rapports calculés dans cette zone 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 2010 est comprise dans cet intervalle. La figure IV.56. donne la variation de ce rapport depuis 1988.

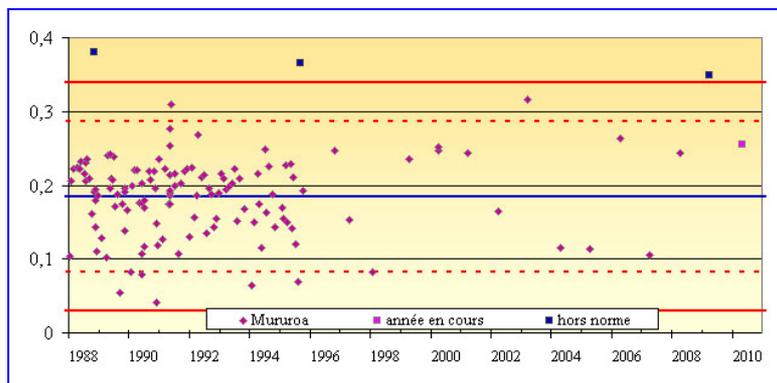


Figure IV.56. - Rapport en activité (<sup>238</sup>Pu / (<sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu)) du plancton du lagon à Mururoa en zone Est et Sud.

#### **IV.3.2.2. - L'atoll de Fangataufa**

##### ***Radioactivité d'origine artificielle***

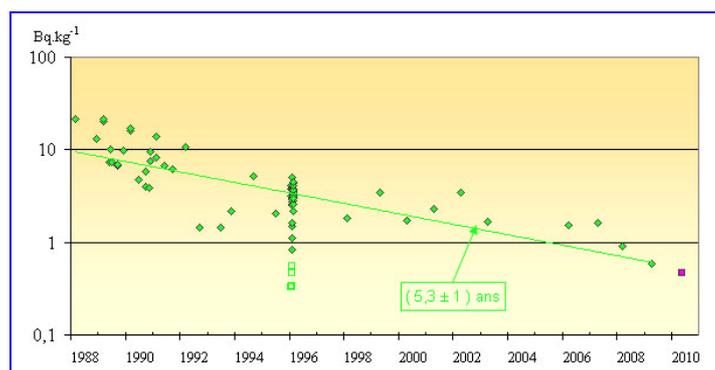
##### ***Césium 137 et strontium 90***

L'activité en <sup>137</sup>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<sup>-1</sup>). Les résultats en césium 137 étant inférieur à 1 Bq.kg<sup>-1</sup>, le strontium 90 n'a pas été analysé.

##### ***Cobalt 60***

La figure IV.57. présente l'évolution de la radioactivité en cobalt 60 du plancton du lagon de Fangataufa depuis 1988.

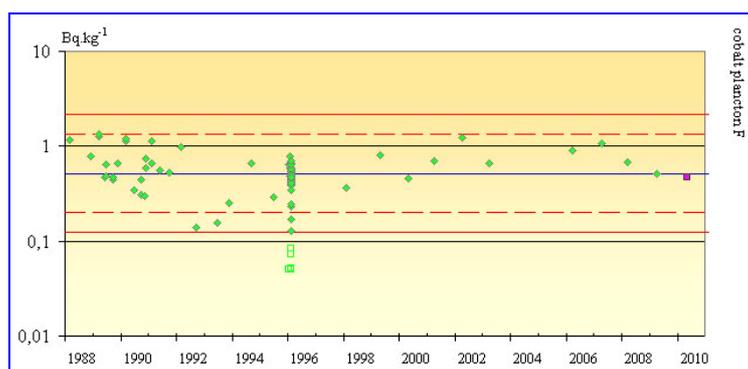
Cette figure montre que l'activité diminue selon une période apparente de 5,3 ans à Fangataufa, période identique à celle du cobalt 60 (5,27 ans).



**Figure IV.57. - Évolution de l'activité massique en  $^{60}\text{Co}$  du plancton du lagon de Fangataufa depuis 1988.**

À l'aide de la période du cobalt 60, les valeurs mesurées sur les 80 échantillons pris en compte depuis 1988 sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure IV.58. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,52 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,13 ; 2,2]$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 ( $0,46 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.



**Figure IV.58. - Activité massique en  $^{60}\text{Co}$  du plancton du lagon à Fangataufa. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### ***Plutonium 238***

À l'aide de la période radioactive du plutonium 238 (87,74 ans), les valeurs mesurées sur les 26 échantillons prélevés depuis 1988 sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010. Contrairement à Mururoa, les valeurs ne montrent pas de décroissance à Fangataufa (lagon de type fermé).

La figure IV.59. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $3,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,08 ; 154]$  traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2010 ( $9,6 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.

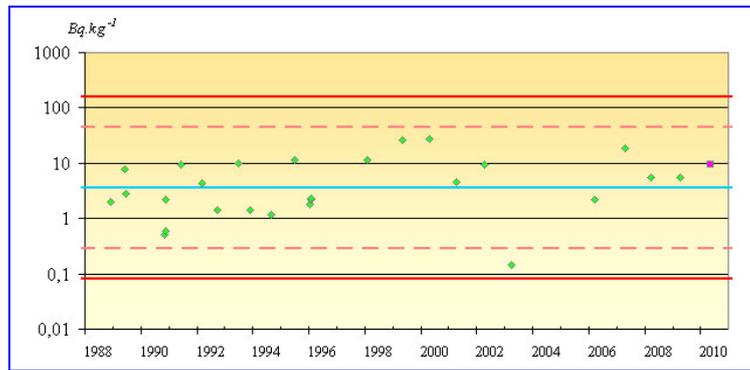


Figure IV.59. - Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  du plancton du lagon à Fangataufa.  
(valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### *Plutonium 239 + plutonium 240*

Sur les 26 échantillons prélevés depuis 1988, la moyenne géométrique est de  $11 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Contrairement à Mururoa, les valeurs ne montrent pas de décroissance à Fangataufa.

L'intervalle de probabilité 95 % [0,3 ; 440] traduit la dispersion des valeurs (Figure IV.60.). La valeur 2010 ( $28 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.

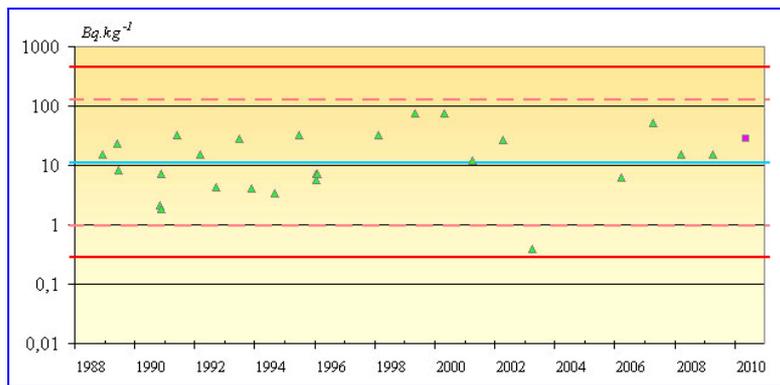


Figure IV.60. - Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) du plancton du lagon à Fangataufa  
(valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

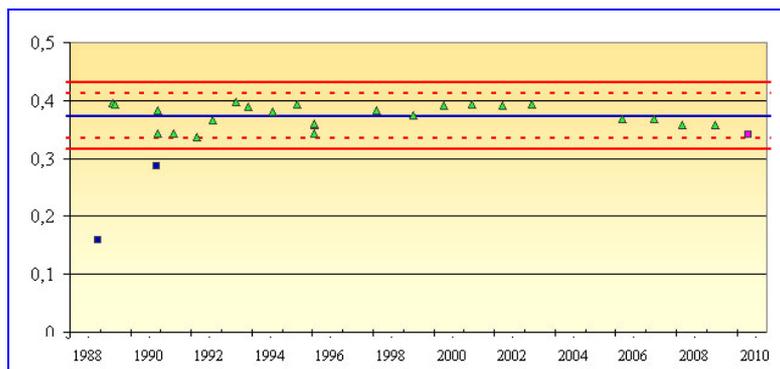
### *Rapport plutonium 238 / plutonium 239 + plutonium 240*

La figure IV.61. donne les valeurs du rapport  $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$  depuis 1988.

La valeur moyenne calculée sur les 26 rapports est de  $0,37 \pm 0,01$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,32 ; 0,43] traduit la dispersion des résultats.

La valeur 2010 ( $0,34 \pm 0,04$ ) est comprise dans cet intervalle.

Le rapport moyen  $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$  est plus élevé à Fangataufa qu'à Mururoa.



**Figure IV.61. - Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) du 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 aux « 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  $\gamma$ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.



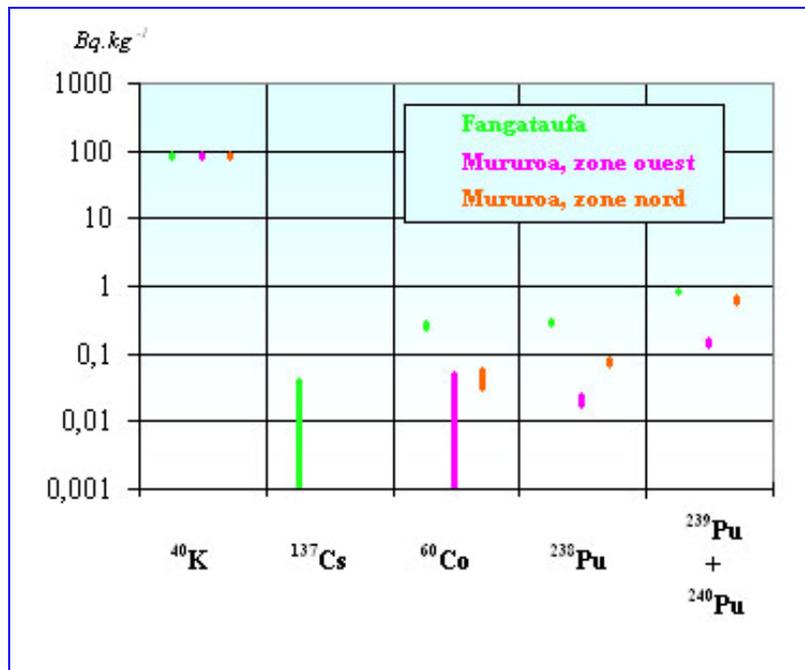
**Troca (*Trochus niloticus*) dans son habitat.**

##### **IV.4.2. - LA RADIOACTIVITE DU TROCA**

Le tableau IV.32. et la figure IV.62. regroupent l'ensemble des résultats des analyses effectuées sur la chair de troca à Mururoa.

**Tableau IV.32. - Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup>) de la chair du troca en 2010.**

Localisation	Date	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co	<sup>238</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu
Fangataufa	12/05/2010	82,3 ± 6,5	≤ 0,041	0,27 ± 0,04	0,29 ± 0,02	0,82 ± 0,04
Mururoa, zone nord	26/04/2010	86,7 ± 6,9	≤ 0,039	0,045 ± 0,014	0,076 ± 0,01	0,65 ± 0,08
Mururoa, zone ouest	29/04/2010	86,2 ± 7,1	0,016 ± 0,007	≤ 0,051	0,021 ± 0,004	0,15 ± 0,02

**Figure IV.62. - Activité massique de la chair du troca mesurée à Mururoa en 2010.**

### *Radioactivité d'origine naturelle*

#### *Potassium 40*

Le potassium 40 est systématiquement détecté dans les échantillons. La moyenne des valeurs, calculée sur les 131 échantillons prélevés 1986, est de 82 Bq.kg<sup>-1</sup>. La radioactivité en <sup>40</sup>K mesurée cette année est du même ordre de grandeur que celle mesurée les années antérieures.

### *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<sup>-1</sup>). Les valeurs mesurées en césium 137 étant inférieures à 0,5 Bq.kg<sup>-1</sup>, le strontium n'a pas été analysé.

#### *Cobalt 60*

La figure IV.63. regroupe l'ensemble des valeurs mesurées à Mururoa et à Fangataufa, elles décroissent avec une période apparente respectivement de (4,2 ± 0,4) ans à Mururoa et de (3,1 ± 0,4) ans à Fangataufa. Ces périodes sont inférieures à la décroissance du cobalt 60 (5,27 ans).

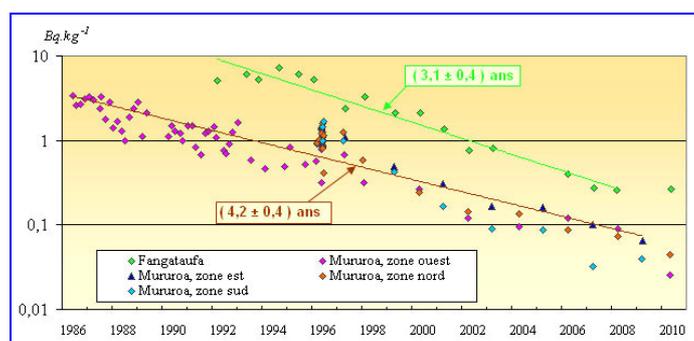


Figure IV.63. - Évolution de l'activité massique en  $^{60}\text{Co}$  de la chair du troca à Mururoa et à Fangataufa depuis 1986.

### *Mururoa*

La répartition à Mururoa suit une loi de type log-normale. A l'aide de la période de Mururoa, les valeurs des 101 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées à la date de référence (Figure IV.64.). La moyenne géométrique est de  $0,06 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [ $0,015 ; 0,27$ ]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur vraie de cette année ( $0,045$ ) est comprise dans cet intervalle. Comme depuis quelques années, les valeurs mesurées sont proches ou inférieures aux limites de détection.

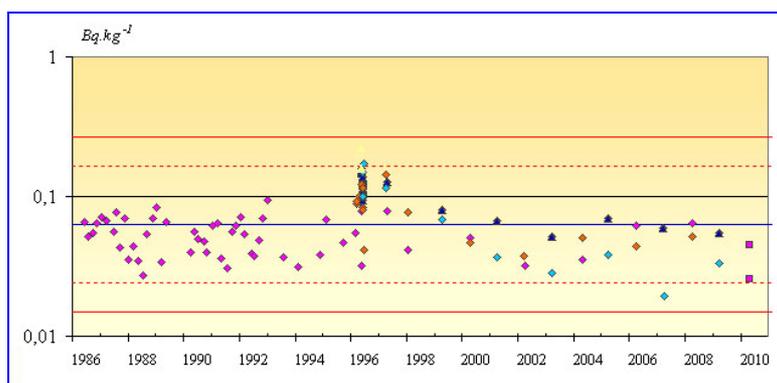


Figure IV.64. - Activité massique en  $^{60}\text{Co}$  de la chair du troca à Mururoa depuis 1986. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### *Fangataufa*

A Fangataufa, la répartition suit une loi normale. A l'aide de la période apparente de Fangataufa, les valeurs des 17 échantillons prélevés depuis 1992, sont ramenées à la date de référence (Figure IV.65.). La moyenne est de  $0,16 \pm 0,02 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [ $0,04 ; 0,29$ ]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur de cette année, ( $0,27 \text{ Bq ;kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.

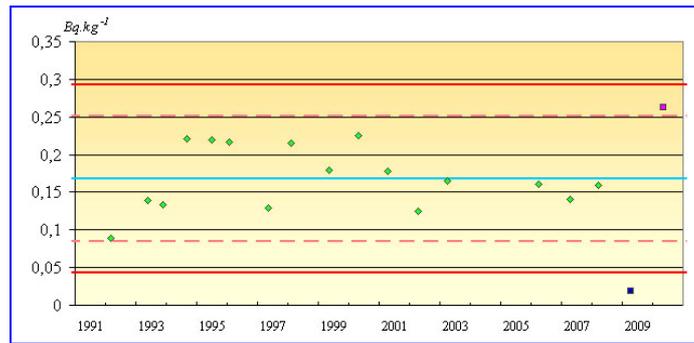


Figure IV.65. - Activité massique en  $^{60}\text{Co}$  de la chair du troca à Fangataufa depuis 1992. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### Plutonium 238

La figure IV.66. présente l'évolution de la radioactivité à Mururoa et à Fangataufa, elle décroît avec une période apparente respectivement de  $(8,1 \pm 1,8)$  ans et de 18 ans. Cette période est plus rapide que la décroissance du plutonium 238 ( $87,74 \pm 0,09$  ans).

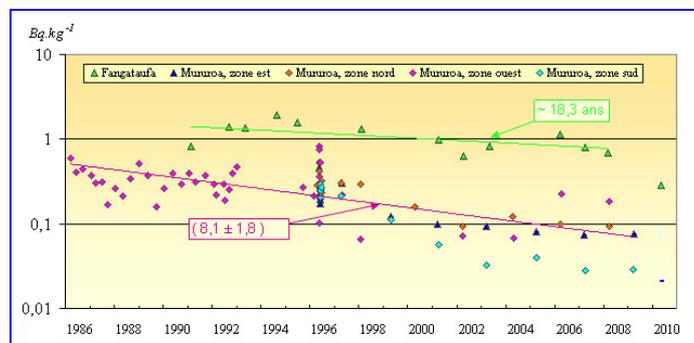


Figure IV.66. - Évolution de l'activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  de la chair du troca depuis 1986.

### Mururoa

La répartition suit une loi de type log-normale. A l'aide de la période apparente de 8,1 ans les valeurs des 86 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,06 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,01 ; 0,3] \text{ Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des valeurs (Figure IV.67.). Les valeurs 2010 ( $0,021$  et  $0,076 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) sont comprises dans cet intervalle.

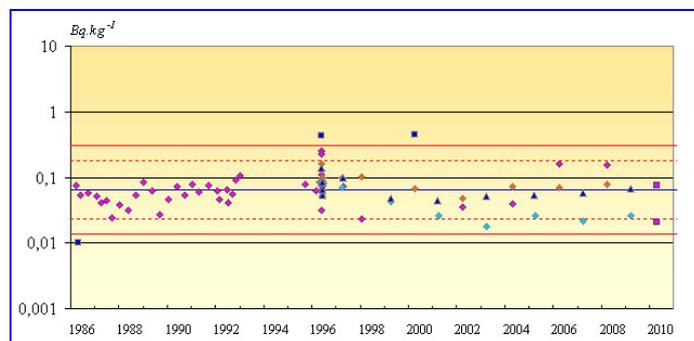


Figure IV.67. - Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  de la chair du troca à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### Fangataufa

La répartition suit une loi de type log-normale. A l'aide de la période apparente de Fangataufa de 18 ans, les valeurs des 15 échantillons prélevés depuis 1991, sont ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,63 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [ $0,16 ; 2,5$ ]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des valeurs (Figure IV.68.). La valeur 2010 ( $0,29 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est dans cet intervalle.

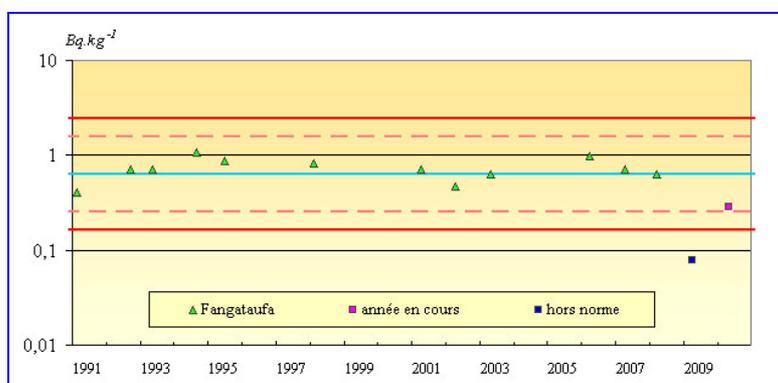


Figure IV.68. - Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  de la chair du troca à Fangataufa depuis 1991. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### Plutonium 239 + plutonium 240

Le regroupement des différentes mesures par zone de prélèvement permet de remarquer sur le schéma de la figure IV.69. que les zones de Mururoa ainsi que de Fangataufa présentent des décroissances plus rapides (8,9 et 14 ans) que la décroissance radioactive du plutonium 239 et du plutonium 240 (respectivement  $2,4 \cdot 10^4$  et 6550 ans).

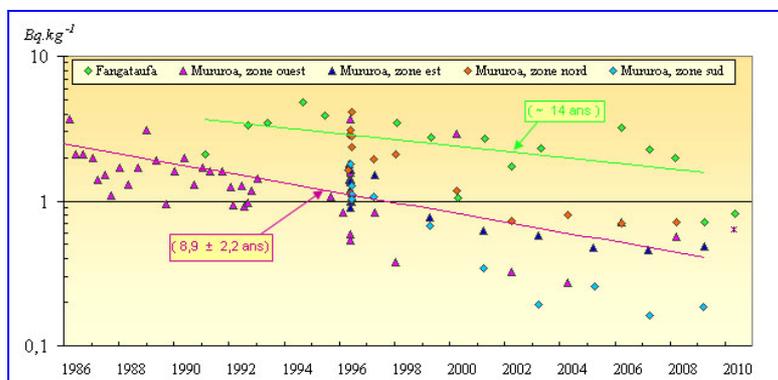


Figure IV.69. - Évolution de l'activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) de la chair du troca depuis 1986.

### Mururoa

La répartition suit une loi de type log-normale. A l'aide de la période apparente globale de 8,9 ans, les valeurs des 86 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,32 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [ $0,05 ; 2$ ]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des valeurs (Figure IV.70.).

Les valeurs 2010 ( $0,15$  et  $0,65 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) sont comprises dans cet intervalle.

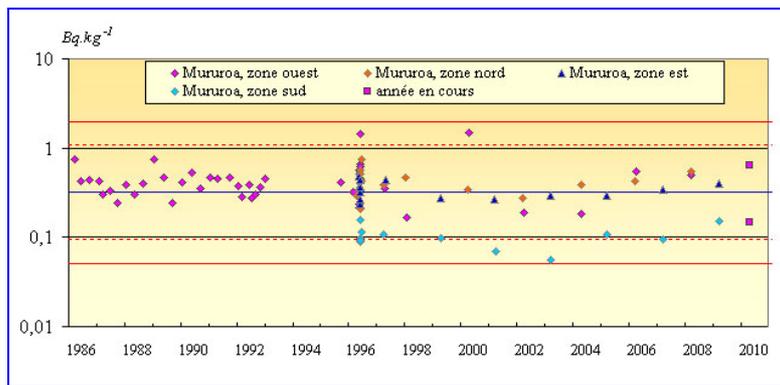


Figure IV.70. - Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) de la chair du trocà à Mururoa depuis 1996. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010)

### Fangataufa

La répartition suit une loi de type log-normale. A l'aide de la période apparente de Fangataufa, les valeurs des 15 échantillons prélevés depuis 1991, sont ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $1,44 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,39 ; 5,3] \text{ Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des valeurs (figure IV.71.).

La valeur 2010 ( $0,82 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.

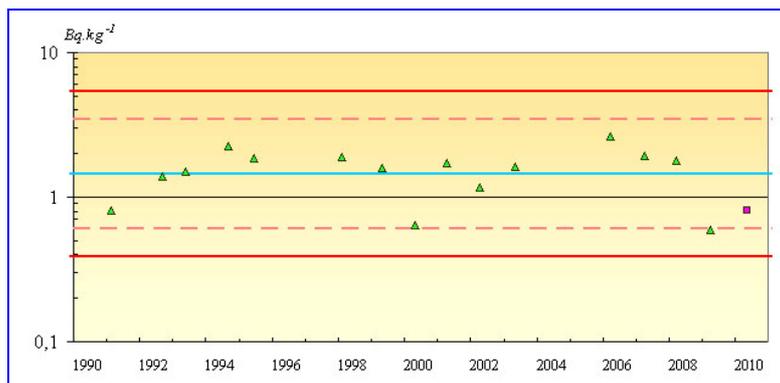


Figure IV.71. - Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) de la chair du trocà à Fangataufa depuis 1991. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010)

### Rapport en activité (plutonium 238 / (plutonium 239 + plutonium 240))

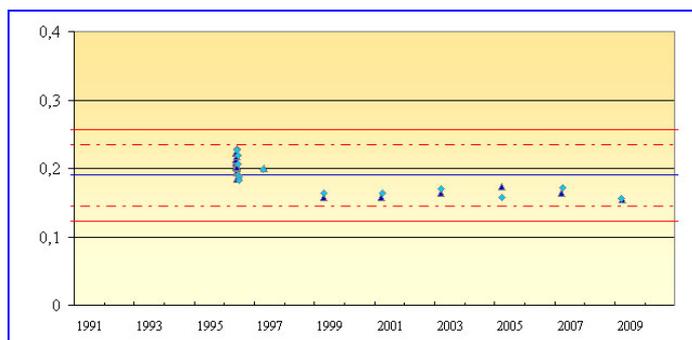
Les rapports en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) est de :

- $0,14 \pm 0,02$  pour Mururoa, zone ouest,
- $0,12 \pm 0,02$  pour Mururoa, zone nord,
- $0,35 \pm 0,02$  pour Fangataufa.

En calculant les rapports pour les années antérieures, nous avons identifié pour Mururoa trois populations (zones Est+Sud, zone Nord et zone Ouest).

### Mururoa, zones Est et Sud

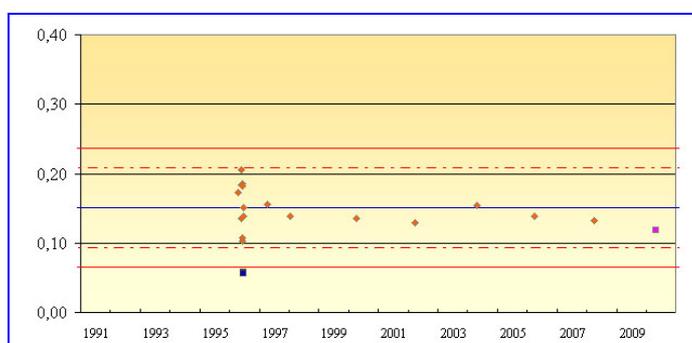
La moyenne, sur les 36 rapports en activité calculés depuis 1996, est de  $0,19 \pm 0,01$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,12 ; 0,26]$  traduit la dispersion des valeurs (Figure IV.72.). Cette année, il n'y a pas eu de prélèvements dans cette zone.



**Figure IV.72. - Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) de la chair du troca pour les zones Est et Sud de Mururoa.**

### *Mururoa, zone Nord*

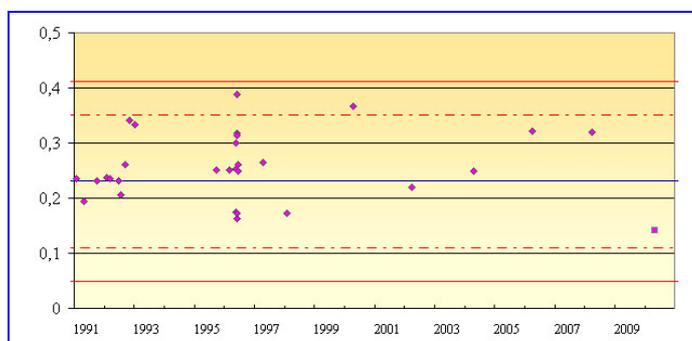
La moyenne, sur les 20 rapports en activité calculés depuis 1996, est de  $0,15 \pm 0,01$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,06 ; 0,24] traduit la dispersion des valeurs. La figure IV.73. donne les valeurs calculées depuis 1996. La valeur 2010 (0,12) est comprise dans cet intervalle.



**Figure IV.73. - Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) de la chair du troca en zone Nord de Mururoa.**

### *Mururoa, zone Ouest*

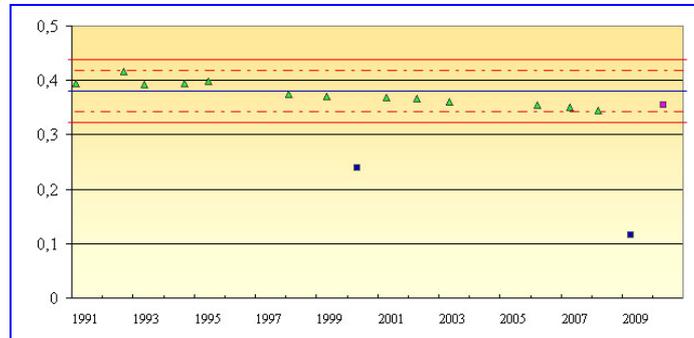
Les valeurs des rapports calculés dans cette zone présentent une grande dispersion par rapport aux autres zones et à Fangataufa. La moyenne, sur les 45 rapports en activité calculés depuis 1986, est de  $0,23 \pm 0,02$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,05 ; 0,41] traduit la dispersion des valeurs. La valeur calculée cette année (0,14) est comprise dans cet intervalle. La figure IV.74. donne les valeurs calculées depuis 1986.



**Figure IV.74. - Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) de la chair due troca en zone Ouest de Mururoa.**

### *Fangataufa*

La moyenne, sur les 15 rapports en activité calculés depuis 1986, est de  $0,38 \pm 0,01$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,32 ; 0,44] traduit la dispersion des valeurs, la valeur calculée cette année (0,39) est comprise dans cet intervalle. La figure IV.7. donne les valeurs calculées depuis 1991.



**Figure IV.75. - Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) de la chair du troca à Fangataufa depuis 1991.**

## IV.5. - LE POISSON CHIRURGIEN

Le poisson chirurgien noir ou maïto (*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 que le mérrou 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 PRELEVEMENTS 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  $\gamma$ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.

L'édition 2009 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  $0,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ .



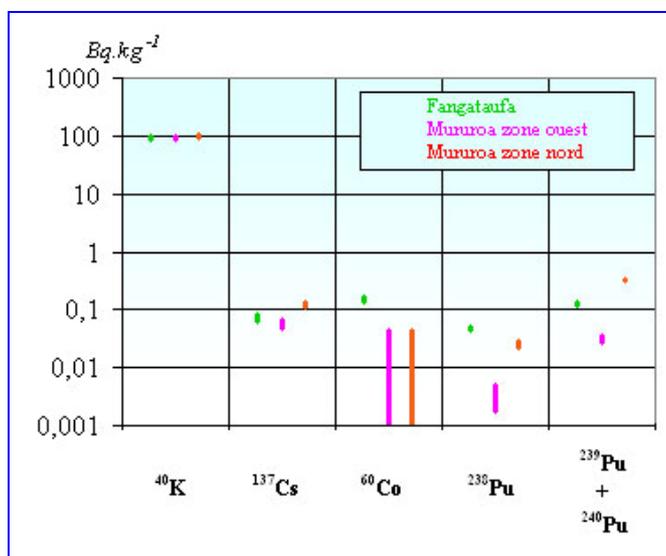
**Poisson chirurgical noir ou maito  
dans son habitat.**

#### IV.5.2. - LA RADIOACTIVITE DU CHIRURGIEN

Les résultats de mesure de la radioactivité, du chirurgien éviscéré en 2010, sont présentés dans le tableau IV.33. et la figure IV.76.

**Tableau IV.33. - Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup>) du chirurgien éviscéré, mesurée en 2010.**

Localisation	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Fangataufa	14/05/2010	90,3 ± 6,8	0,075 ± 0,01	0,16 ± 0,02	0,048 ± 0,005	0,13 ± 0,01
Mururoa zone ouest	29/04/2010	90,1 ± 6,1	0,057 ± 0,009	≤ 0,044	0,0033 ± 0,0016	0,033 ± 0,005
Mururoa zone nord	26/04/2010	97,4 ± 6,5	0,13 ± 0,02	≤ 0,043	0,026 ± 0,004	0,34 ± 0,02



**Figure IV.76. - Activité massique du chirurgien éviscéré mesurée en 2010.**

#### *Radioactivité d'origine naturelle*

##### *Potassium 40*

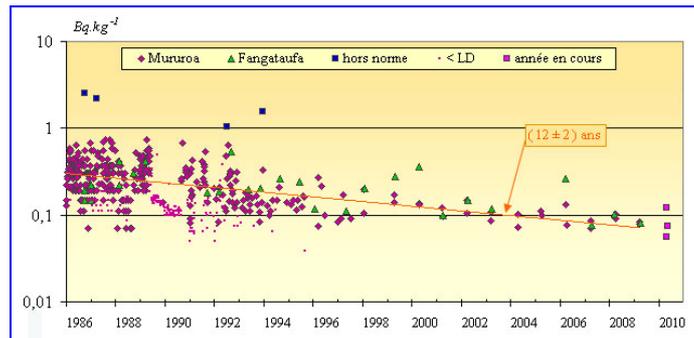
Le potassium 40, systématiquement détecté dans les échantillons, présente une valeur moyenne de  $94,2 \pm 0,6$  Bq.kg<sup>-1</sup>, calculée sur les 575 échantillons pris en compte à Fangataufa et Mururoa, depuis 1986.

Les valeurs mesurées cette année qui varient entre 90 et 97 Bq.kg<sup>-1</sup> sont au niveau de celles enregistrées les années précédentes.

### *Radioactivité d'origine artificielle*

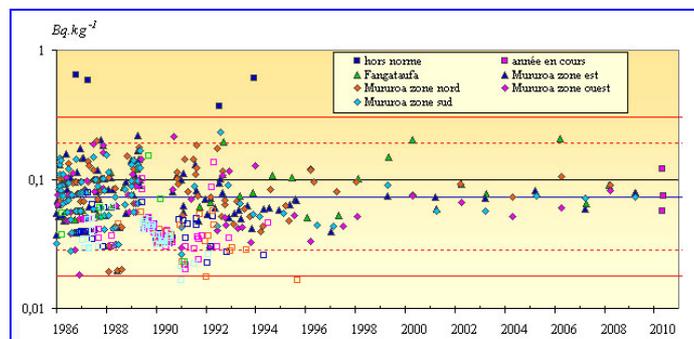
#### *Césium 137*

La figure IV. 77. présente la radioactivité du césium 137 des échantillons de chirurgiens prélevés à Mururoa et Fangataufa depuis 1986. Elle décroît selon une période de  $(12 \pm 2)$  ans, trois fois plus rapide que celle du césium 137 (30 ans) Les valeurs inférieures aux limites de détection ont été extraites de la population, elles figurent dans les courbes (carrés sans couleur de fond). Les valeurs hors norme sont également représentées (carrés fond bleu).



**Figure IV.77. - Évolution de l'activité massique en <sup>137</sup>Cs du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986.**

A l'aide de la période apparente de 12 ans, les valeurs mesurées sur les 387 échantillons pris en compte à Mururoa et à Fangataufa depuis 1986, sont ramenés au 1<sup>er</sup> mai 2010. La figure IV.78.donne par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,07 Bq.kg<sup>-1</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7% [0,02 ; 0,3] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2010 sont comprises dans cet intervalle.



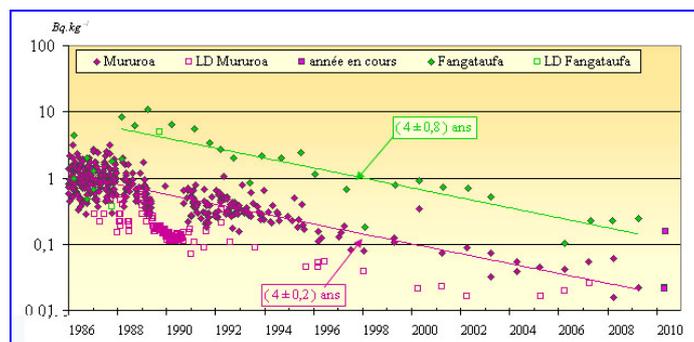
**Figure IV.78. - Activité massique en <sup>137</sup>Cs du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

#### *Strontium 90*

L'activité en césium 137 du chirurgien éviscéré étant inférieure à 0,5 Bq.kg<sup>-1</sup>, le strontium 90 n'a pas été mesuré.

#### *Cobalt 60*

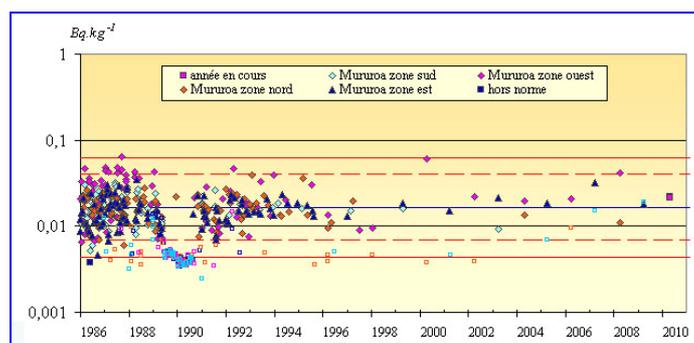
La figure IV. 79. présente la radioactivité du cobalt 60 des échantillons de chirurgiens prélevés à Mururoa et Fangataufa depuis 1986. L'activité décroît selon une période de 4 ans, proche que celle du cobalt 60 (5,27 ans) Les valeurs inférieures aux limites de détection ont été extraites de la population, elles figurent dans les courbes (carrés sans couleur de fond).



**Figure IV.79. - Évolution de l'activité massique en  $^{60}\text{Co}$  du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986.**

### *Mururoa*

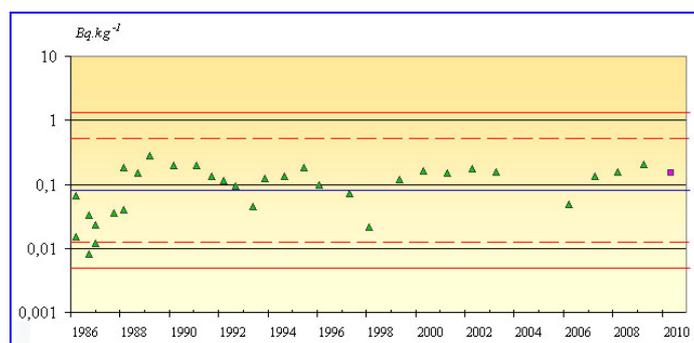
A l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 386 échantillons pris en compte à Mururoa depuis 1986, sont ramenés au 1<sup>er</sup> mai 2010. La figure IV.80. donne par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,017 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7%  $[0,004 ; 0,063]$  traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2010 sont comprises dans cet intervalle, elles sont inférieures aux limites de détection.



**Figure IV.80. - Activité massique en  $^{60}\text{Co}$  du chirurgien éviscéré à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### *Fangataufa*

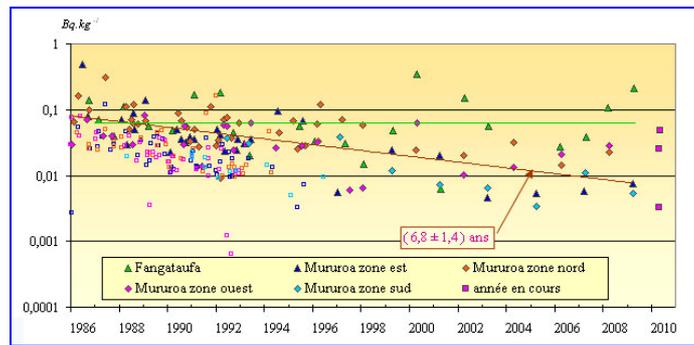
A l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 34 échantillons pris en compte à Fangataufa depuis 1986, sont ramenés au 1<sup>er</sup> mai 2010. La figure IV.81. donne par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,08 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7%  $[0,005 ; 1,34]$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 est comprise dans cet intervalle.



**Figure IV.81. - Activité massique en  $^{60}\text{Co}$  du chirurgien éviscéré à Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### *Plutonium 238*

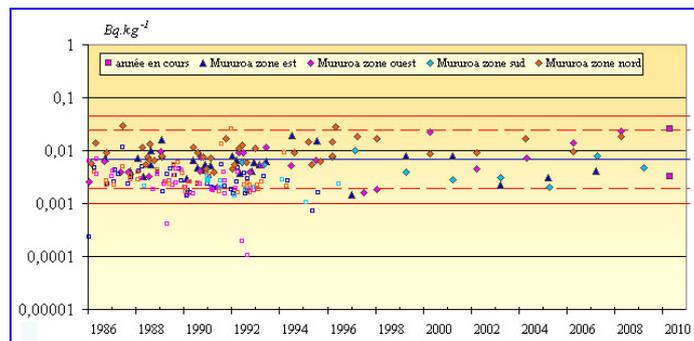
La figure IV. 82. présente l'évolution de l'activité massique en plutonium 238 du chirurgien depuis 1986. Les valeurs inférieures aux limites de détection ont été extraites de la population, elles figurent dans les courbes (carrés sans couleur de fond). L'activité décroît à Mururoa selon une période de  $6,8 \pm 1,4$  ans, plus rapide que celle du plutonium 238 (87,74 ans), à Fangataufa lagon fermé, elle ne semble pas décroître.



**Figure IV.82. - Évolution de l'activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986.**

### *Mururoa*

A l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 102 échantillons pris en compte à Mururoa depuis 1986, sont ramenés au 1<sup>er</sup> mai 2010. La figure IV.83. donne par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,007 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7% [0,001 ; 0,045] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2010 sont comprises dans cet intervalle.



**Figure IV.83. - Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### *Fangataufa*

A l'aide de la période du plutonium 238, les valeurs mesurées sur les 102 échantillons pris en compte à Mururoa depuis 1986, sont ramenés au 1<sup>er</sup> mai 2010. La figure IV.84. donne par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,05 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7% [0,031 ; 0,95] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2010 sont comprises dans cet intervalle.

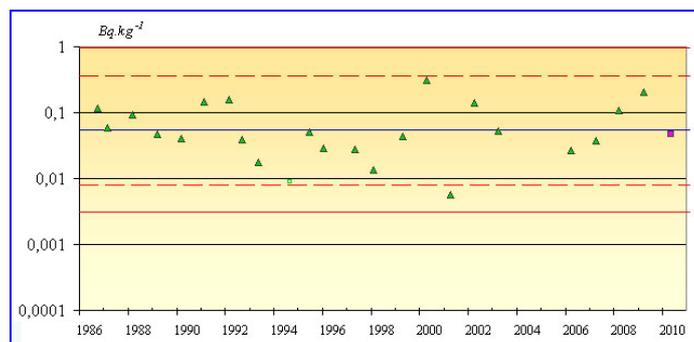


Figure IV.84. - Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### Plutonium 239 + plutonium 240

La figure IV.85. donne l'évolution de l'activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) du chirurgien éviscéré. Les valeurs inférieures aux limites de détection ont été extraites de la population, elles figurent sur les courbes (petits carrés sans coloration de fond). On note une décroissance de 8,7 ans pour Mururoa, les valeurs pour Fangataufa ne semble pas décroître.

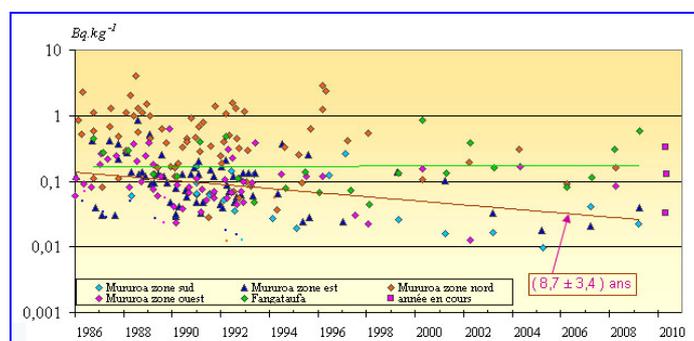


Figure IV.85. - Évolution de l'activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986.

On remarque que les valeurs mesurées en zone Nord sont plus élevées que dans les autres zones, cette zone sera traitée indépendamment de l'ensemble des autres zones.

### Mururoa sauf zone Nord

A l'aide de la période apparente, les valeurs mesurées sur les 142 échantillons pris en compte à Mururoa (zones Est, et Sud) depuis 1986 sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010. L'activité moyenne en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) est de 0,021 Bq.kg<sup>-1</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 0,22] Bq.kg<sup>-1</sup> traduit la dispersion des résultats (Figure IV.86.). La valeur 2010 (0,033) est comprise dans cet intervalle.

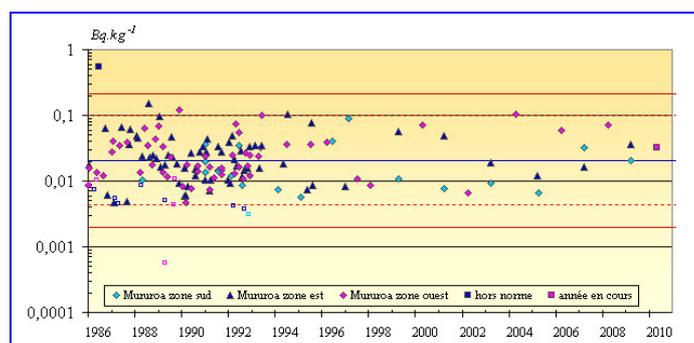
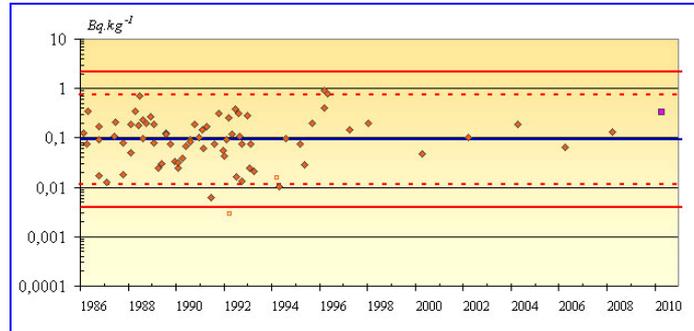


Figure IV.86. - Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) du chirurgien éviscéré à Mururoa depuis 1986.

### *Mururoa zone Nord*

A l'aide de la même période apparente, les valeurs mesurées sur les 72 échantillons prélevés en zone Nord depuis 1986 sont ramenées à la date de référence (Figure IV.87.). La moyenne de l'activité est de  $0,09 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,004 ; 2,2] \text{ Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. La valeur 2010 (0,34) est comprise dans cet intervalle.

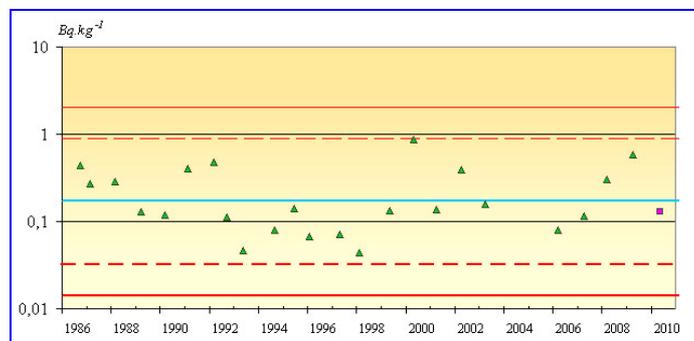


**Figure IV.87. - Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) du chirurgien éviscéré à Mururoa en zone nord depuis 1986.**

### *Fangataufa*

La moyenne géométrique, calculée sur les 23 échantillons prélevés à Fangataufa depuis 1986, est de  $0,17 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,014 ; 2,1] \text{ Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats (Figure IV.88.).

La valeur 2010 ( $0,13 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.



**Figure IV.88. - Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) du chirurgien éviscéré à Fangataufa depuis 1986.**

### ***Rapport en activité (Plutonium 238 / (Plutonium 239 + plutonium 240))***

Les rapports en activité ( $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$ ) en 2010 est de :

- $0,1 \pm 0,05$  pour Mururoa zone Ouest ;
- $0,08 \pm 0,01$  pour Mururoa zone Nord ;
- $0,37 \pm 0,04$  pour Fangataufa.

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

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

### Zones Est et Ouest

Sur l'ensemble des 50 rapports en activité calculés depuis 1986, la moyenne est de  $0,24 \pm 0,02$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,015 ; 0,47] traduit la dispersion des résultats. La valeur 2010 (0,1) est comprise dans cet intervalle. La figure IV.89. donne les valeurs calculées depuis 1986. La valeur 2010 (0,1) est comprise dans cet intervalle.

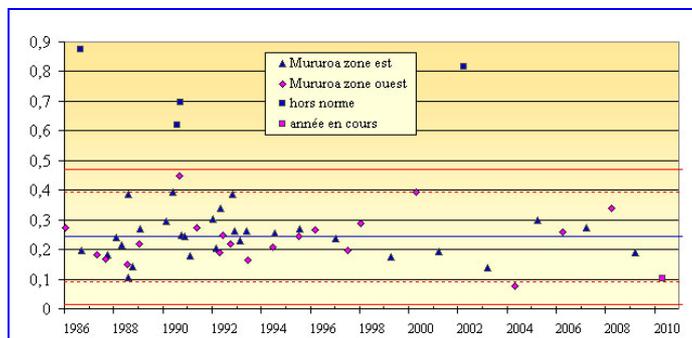


Figure IV.89. - Rapport des activités ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) du chirurgien éviscéré (zones Est et Ouest de Mururoa) depuis 1986.

### Zones Sud

La zone Sud est traitée indépendamment de la zone (Est + Ouest). Sur l'ensemble des 8 rapports en activité calculés depuis 1986, la moyenne est de  $0,31 \pm 0,07$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,011 ; 0,62] traduit la dispersion des résultats. Cette année, il n'y a pas eu de prélèvement dans cette zone.

La figure IV.90. donne les valeurs calculées depuis 1986.

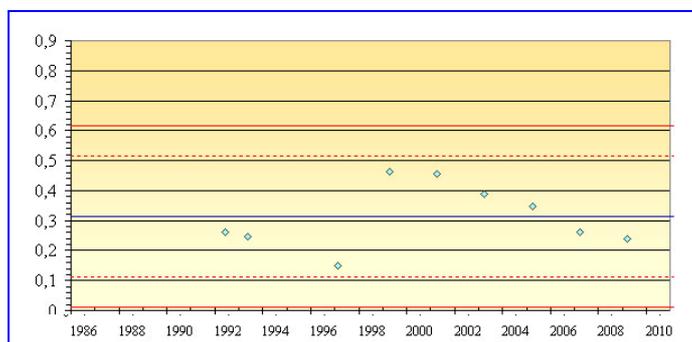
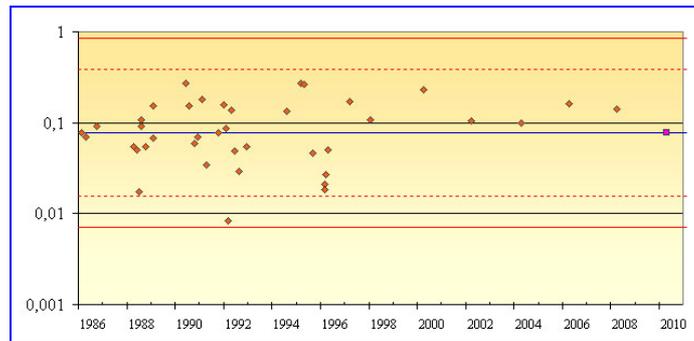


Figure IV.90. - Rapport des activités ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) du chirurgien éviscéré (zone Sud de Mururoa) depuis 1986.

### Zone Nord

La figure IV.91 qui donne les valeurs calculées depuis 1996, n'est pas présentée en échelle linéaire car la population ne semble pas suivre une loi normale. Il semble y avoir un mélange de deux populations. En effet, à partir de 1996 les valeurs sont systématiquement au dessus de la moyenne. Ces deux populations sont difficilement séparables.

Sur l'ensemble des 40 rapports en activité calculés depuis 1986, la moyenne géométrique est de 0,08. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,007 ; 0,85] traduit la dispersion des résultats. La valeur 2010 (0,08) est comprise dans cet intervalle.

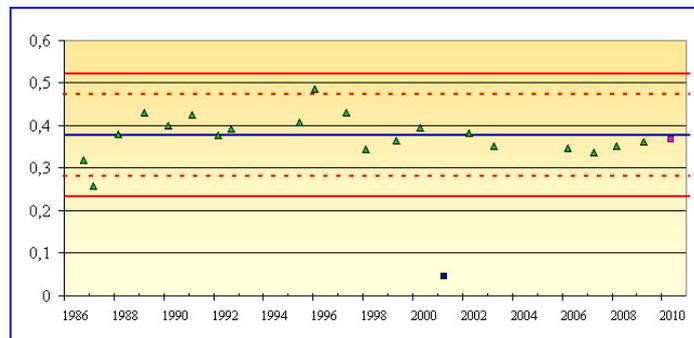


**Figure IV.91. - Rapport des activités ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) du chirurgien éviscéré (zone Nord de Mururoa) depuis 1986.**

### *Fangataufa*

Sur l'ensemble des 21 rapports en activité calculés depuis 1986, la moyenne est de  $0,38 \pm 0,05$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,23 ; 0,52] traduit la dispersion des résultats.

La figure IV.92. donne les valeurs calculées depuis 1986. La valeur 2010 (0,37) est comprise dans cet intervalle.



**Figure IV.92. - Rapport des activités ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) du poisson chirurgical éviscéré (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  $\gamma$ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.



Prélèvement d'un mériou.

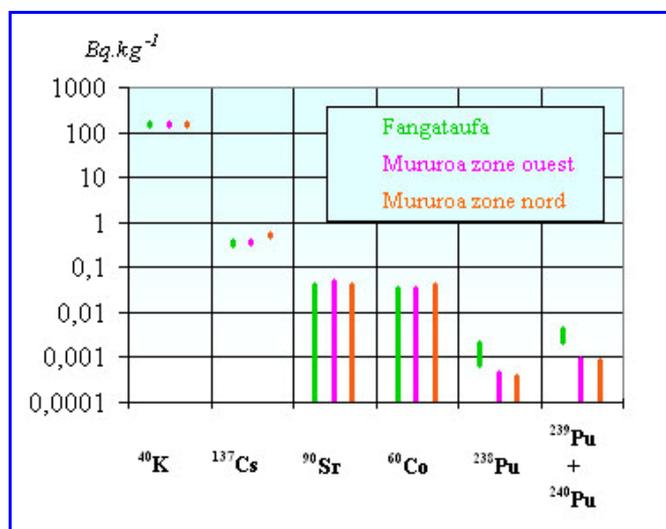
#### IV.6.2. - LA RADIOACTIVITE DU MEROU

La radioactivité dans la chair du mériou 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.93. présentent les résultats de 2010.

**Tableau IV.34 - Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup>) de la chair du mériou en 2010.**

Localisation	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Fangataufa	12/05/2010	151 ± 11	0,35 ± 0,04	≤ 0,042	≤ 0,034	0,0015 ± 0,0008	0,0033 ± 0,0011
Mururoa zone ouest	30/04/2010	155 ± 12	0,37 ± 0,03	≤ 0,051	≤ 0,034	≤ 0,00045	≤ 0,00092
Mururoa zone nord	20/04/2010	150 ± 11	0,52 ± 0,06	≤ 0,043	≤ 0,042	≤ 0,00038	≤ 0,00088



**Figure IV.93. - Activité massique de la chair du mériou en 2010.**

#### *Radioactivité d'origine naturelle*

##### *Potassium 40*

Le potassium 40, systématiquement détecté, présente une valeur moyenne de  $137 \pm 4 \text{ Bq.kg}^{-1}$  calculée sur les 43 échantillons prélevés depuis 1993. L'intervalle de

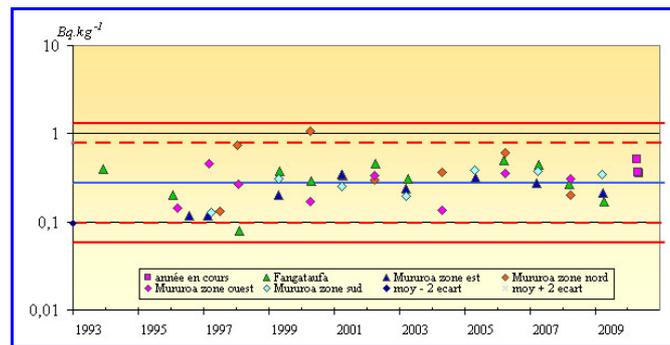
probabilité 99,7 % [96 ; 178] traduit la dispersion des résultats. Les résultats de 2010 qui varient entre 150 et 155 sont compris dans cet intervalle.

### *Radioactivité d'origine artificielle*

#### *Césium 137*

À l'aide de la période du césium 137 (30 ans), les valeurs mesurées sur les 42 échantillons prélevés depuis 1993, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure IV.94. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,27 Bq.kg<sup>-1</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,06 ; 1,32] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2010 qui varient entre 0,35 et 0,52 Bq.kg<sup>-1</sup> sont comprises dans cet intervalle.



**Figure IV.94. - Activité de la chair du mérou en <sup>137</sup>Cs à Mururoa et à Fangataufa depuis 1993. (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

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

Les activités mesurées dans les mérours dans les deux atolls en 2010, 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

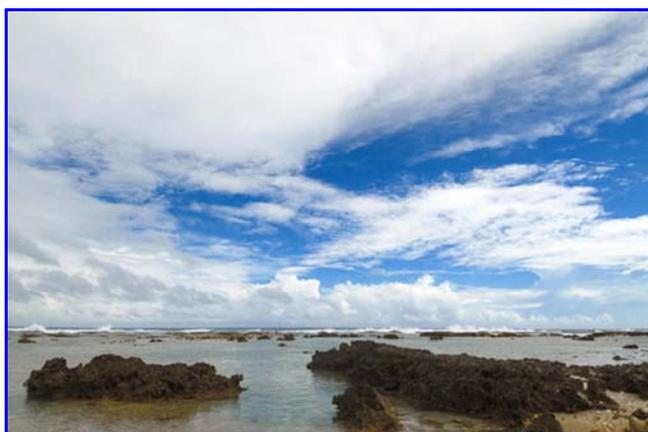
#### V.1. - LE TURBO SOYEUX

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  $\gamma$ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.



L'habitat du turbo soyeux.

##### V.1.2. - LA RADIOACTIVITE DU TURBO

Le tableau V.1. et la figure V.1. présentent les résultats de la radioactivité, de la chair de turbo, mesurée en 2010.

**Tableau V.1. - Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup>) de la chair du turbo soyeux en 2010.**

Localisation	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Fangataufa	15/05/2010	92,1 ± 7	0,016 ± 0,008	≤ 0,07	≤ 0,047	0,044 ± 0,003	0,13 ± 0,01
Mururoa zone ouest	04/05/2010	94,1 ± 7,7	≤ 0,042	≤ 0,11	≤ 0,06	0,019 ± 0,003	0,13 ± 0,01
Mururoa zone sud	04/05/2010	98,4 ± 7,4	≤ 0,032	≤ 0,07	≤ 0,043	0,002 ± 0,0007	0,02 ± 0,002

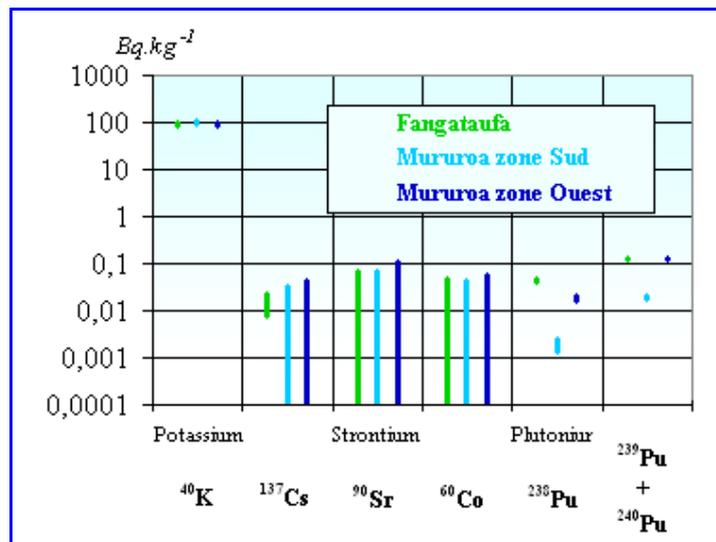


Figure V.1. - Activité massique de la chair du turbo soyeux en 2010.

### *Radioactivité d'origine naturelle*

#### *Potassium 40*

La moyenne calculée sur les 187 échantillons prélevés depuis 1986 est de  $102 \pm 1,4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [74; 131] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs de 2010 qui varient entre 92 et 99  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sont comprises dans cet intervalle de confiance.

### *Radioactivité d'origine artificielle*

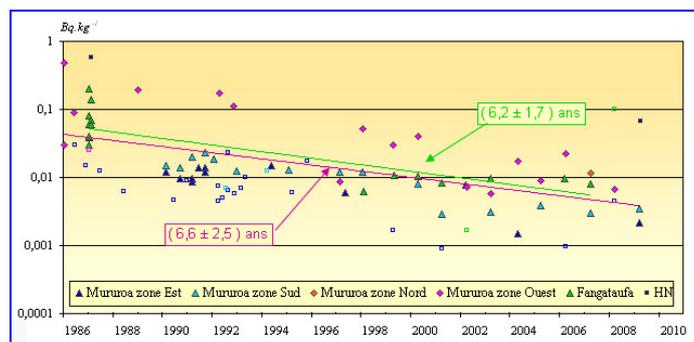
#### *Césium 137, cobalt 60, strontium 90 et plutonium 238*

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*

La figure V.2 regroupe les différentes valeurs de la radioactivité de la chair du turbo soyeux mesurées depuis 1986. On peut remarquer, que les différentes zones de Mururoa ainsi que Fangataufa présentent une évolution plus rapide que le plutonium 238 respectivement (87,74 ans). Les valeurs de Mururoa décroissent avec une période de 6,6 ans, celles de Fangataufa semble présenter une décroissance avec une période de 6,2 ans.

Les valeurs de la zone Ouest sont systématiquement au dessus des valeurs de la zone Est ou Sud qui depuis quelques années sont proches ou inférieures aux valeurs des limites de détection des appareils de mesure. Le point de la zone Nord se rapproche de ceux de la zone Ouest. Les valeurs inférieures aux limites de détection ont été extraites de la population statistique, elles figurent sur les courbes (sous forme de petits carrés sans coloration de fond).

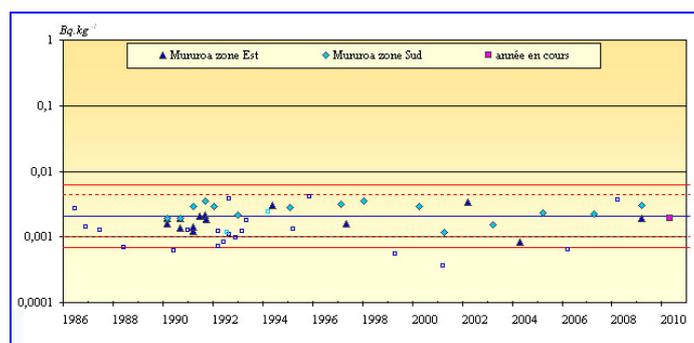


**Figure V2. - Évolution de l'activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  de la chair du turbo, depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### *Mururoa zone Est et Sud*

À l'aide de la période de Mururoa, les valeurs mesurées sur les 29 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure V.3. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,002 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,0007 ; 0,006]$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 ( $0,002 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.

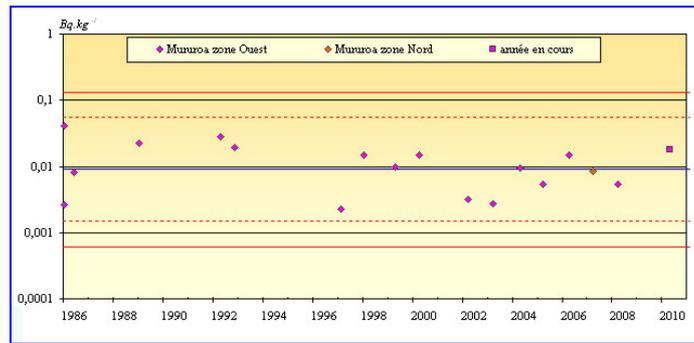


**Figure V.3. - Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  de la chair du turbo en zone Est et Sud à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### *Mururoa zones Ouest et Nord*

À l'aide de la période de Mururoa, les valeurs mesurées sur les 17 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure V.4. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,009 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,0006 ; 0,13]$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 ( $0,019 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.

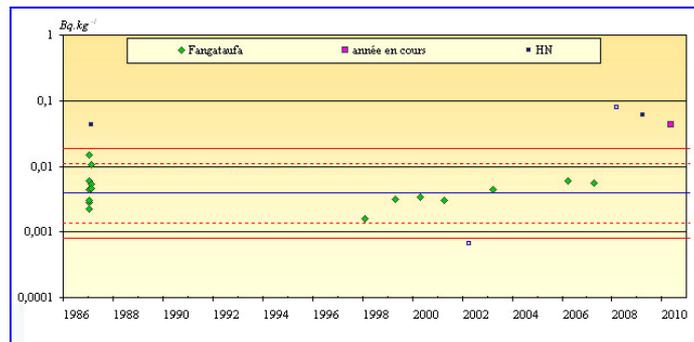


**Figure V.4. - Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  de la chair du turbo en zone Ouest et Nord à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### *Fangataufa*

À l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 23 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure V.5. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,004 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,0008 ; 0,02]$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 ( $0,04 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est hors norme comme en 2009.



**Figure V.5. - Activité massique en  $^{238}\text{Pu}$  de la chair du turbo à Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### *Plutonium 239 + plutonium 240*

La figure V.6 regroupe les différentes valeurs de la radioactivité de la chair du turbo soyeux mesurées depuis 1986. On peut remarquer, que les différentes zones de Mururoa ainsi que Fangataufa présentent des décroissances plus rapides que le plutonium 239 ou le plutonium 240 respectivement  $2,4 \cdot 10^4$  et 6550 ans. Les valeurs de Mururoa décroissent globalement avec une période de 8,4 ans, celles de Fangataufa présentent une décroissance globalement avec une période de 7,9 ans.

Les valeurs de la zone Ouest sont systématiquement au dessus des valeurs de la zone Est ou Sud qui elles sont, depuis quelques années proches ou inférieures aux valeurs des limites de détection des appareils de mesure. Le point de la zone Nord se rapproche de ceux de la zone Ouest. Les valeurs hors norme et celles inférieures aux limites de détection ont été extraites de la population statistique, elles figurent sur les courbes (sous forme de carrés bleus ou petits carrés sans coloration de fond).

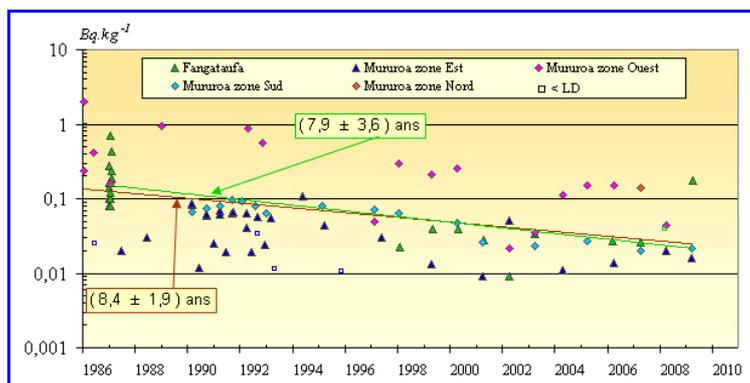


Figure V6. - Évolution de l'activité massique en (<sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu) de la chair du turbo, depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### *Mururoa zone Est et Sud*

À l'aide de la période de Mururoa, les valeurs mesurées sur les 45 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure V.7. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,013 Bq.kg<sup>-1</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 0,08] traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 (0,02 Bq.kg<sup>-1</sup>) est comprise dans cet intervalle.

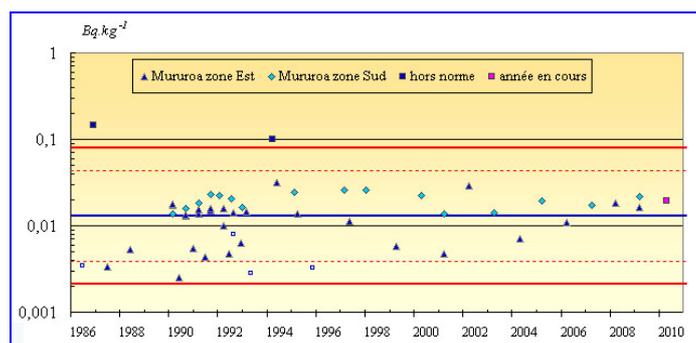


Figure V.7. - Activité massique en (<sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu) de la chair du turbo en zone Est et Sud à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### *Mururoa zones Ouest et Nord*

À l'aide de la période de Mururoa, les valeurs mesurées sur les 18 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure V.8. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de 0,07 Bq.kg<sup>-1</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,005 ; 1,1] traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 (0,13 Bq.kg<sup>-1</sup>) est comprise dans cet intervalle.

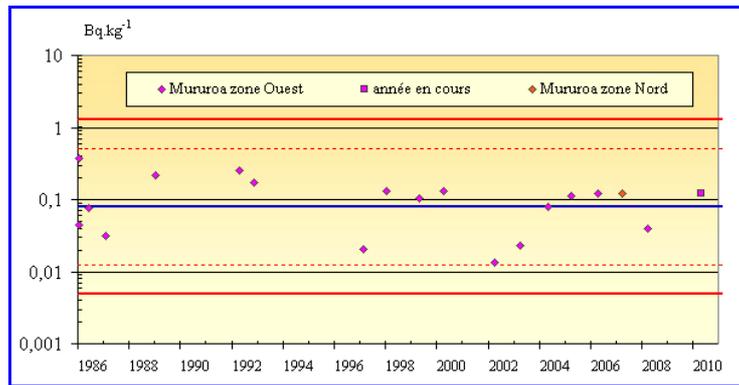


Figure V.8. - Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) de la chair du turbo en zone Ouest et Nord à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### Fangataufa

À l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 24 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La figure V.9. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,022 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,002 ; 0,2]$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 ( $0,13 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.

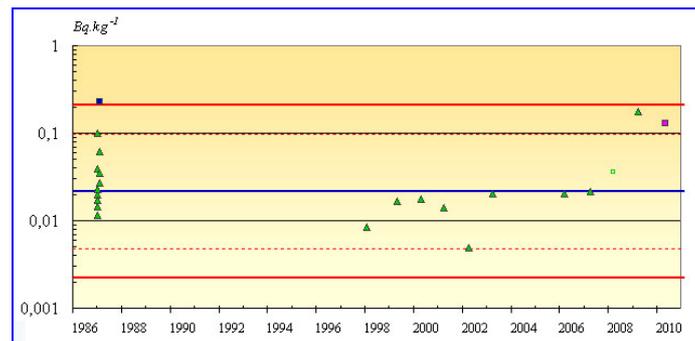


Figure V.9. - Activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) de la chair du turbo à Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).

### Rapport plutonium 238/plutonium 239 + plutonium 240

Les rapports calculés des activités en plutonium ( $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$ ) en 2010 sont donnés dans le tableau V.2. :

Tableau V.2. - Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) de la chair du turbo soyeux en 2010.

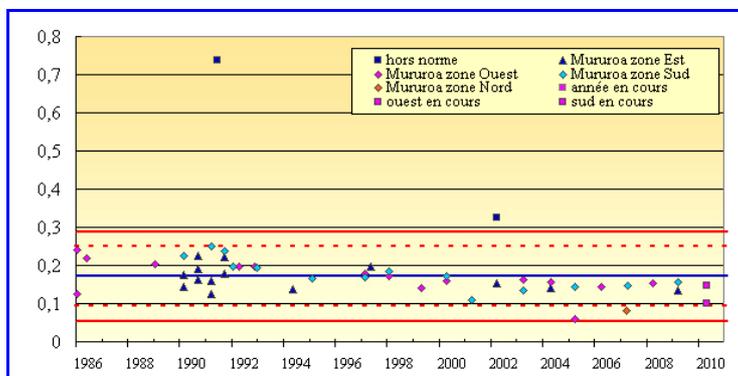
Localisation	$^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$
Fangataufa	$0,34 \pm 0,03$
Mururoa zone ouest	$0,15 \pm 0,02$
Mururoa zone sud	$0,11 \pm 0,04$

Les valeurs de Fangataufa sont supérieures à celles de Mururoa.

### *L'atoll de Mururoa*

Sur l'ensemble des 46 rapports calculés depuis 1986, la valeur moyenne est de  $0,17 \pm 0,01$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,055 ; 0,29] traduit la dispersion des résultats (Figure V.10.).

Les valeurs 2010 qui varient entre 0,11 et 0,15 sont comprises dans cet intervalle.

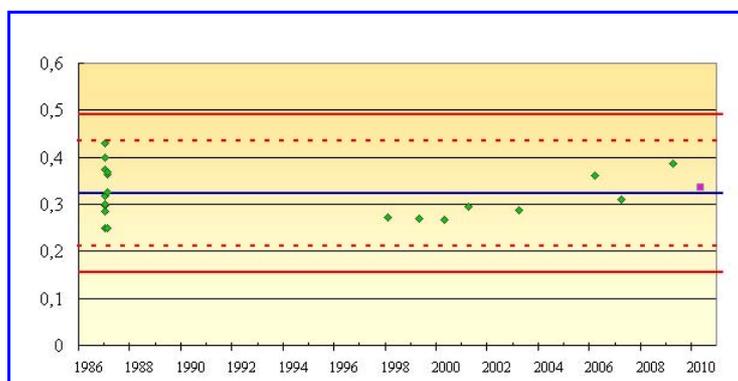


**Figure V.10. - Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) de la chair du turbo soyeux à Mururoa depuis 1986.**

### *L'atoll de Fangataufa*

Sur l'ensemble des 24 rapports calculés depuis 1986, la valeur moyenne est de  $0,32 \pm 0,02$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,16 ; 0,49] traduit la dispersion des résultats. (Figure V.11.).

En 2010, le rapport calculé est de 0,34. Il est compris dans l'intervalle de probabilité 99,7 %.



**Figure V.11. - Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) de 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.

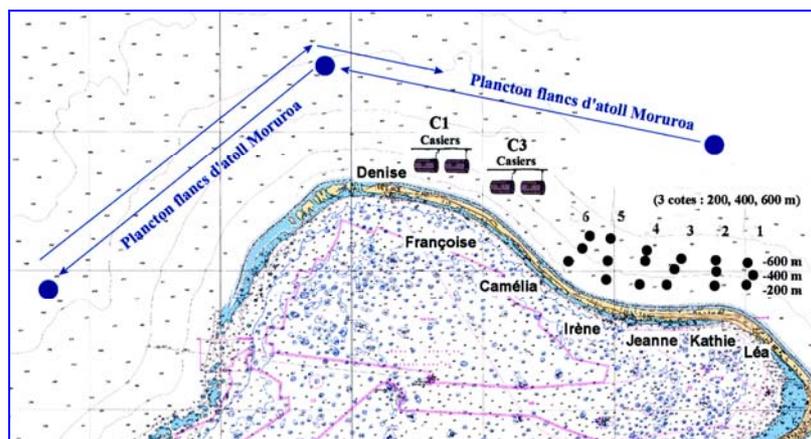


### Prélèvement d'eaux des flancs d'atoll par bouteille hydrologique.

Les caractéristiques et la situation géographique des radiales de prélèvements d'eaux des flancs d'atoll en 2010 sont données pour Mururoa dans le tableau V.3. et la figure V.12. sur cette même figure sont localisés les traits de plancton et les points de prélèvements des crevettes de profondeur.

**Tableau V.3. - Caractéristiques des prélèvements d'eaux des flancs de l'atoll de Mururoa en 2010.**

Lieu	Radiale	Profondeur (m)	Date	Latitude	Longitude
Secteur 2	1	200	22/04/2010	21°48,12' S	138°47,94' W
		400			
		600			
	2	200	22/04/2010	21°48,01' S	138°48,51' W
		400			
		600			
3	200	22/04/2010	21°47,97' S	138°49,08' W	
	400				
	600				
4	200	22/04/2010	21°47,89' S	138°49,53' W	
	400				
	600				
5	200	22/04/2010	21°47,85' S	138°50,10' W	
	400				
	600				
6	200	22/04/2010	21°47,66' S	138°50,47' W	
	400				
	600				

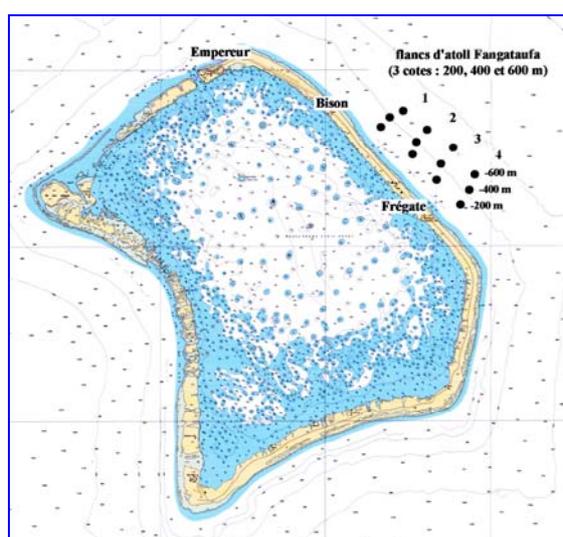


**Figure V.12. – Localisation des radiales de prélèvement des eaux et du plancton des flancs de l’atoll de Mururoa, ainsi que des crevettes de profondeur, en 2010.**

Les caractéristiques et la situation géographique des radiales de prélèvements d’eaux des flancs d’atoll en 2010 sont données pour Fangataufa dans le tableau V.4. et la figure V.13.

**Tableau V.4. - Caractéristiques des prélèvements d'eaux des flancs de l’atoll de Fangataufa en 2010.**

Lieu	Radiale	Profondeur (m)	Date	Latitude	Longitude
Bison à Frégate	1	200	21/04/2010	22°12,52' S	138°43,19' W
		400			
		600			
	2	200	21/04/2010	22° 12,79' S	138° 42,95' W
		400			
		600			
	3	200	21/04/2010	22° 13,07' S	138° 42,61' W
		400			
		600			
	4	200	21/04/2010	22° 13,37' S	138° 42,28' W
		400			
		600			



**Figure V.13. - Prélèvement des eaux des flancs de l’atoll de Fangataufa en 2010.**

## V.2.2. - LES RESULTATS

Les résultats de mesure de l'HTO obtenus en 2010 sur les prélèvements réalisés sur les flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa sont présentés dans les tableaux V.5. et V.6.

**Tableau V.5. - Activité HTO des eaux des flancs de l'atoll de Mururoa en 2010.**

Lieu	Radiale	Profondeur (m)	Activité (Bq.m <sup>-3</sup> )
Secteur 2	1	200	≤ 1 000
		400	≤ 1 000
		600	≤ 1 000
	2	200	≤ 1 000
		400	≤ 1 000
		600	≤ 1 000
	3	200	≤ 1 000
		400	≤ 1 000
		600	≤ 1 000
	4	200	≤ 1 000
		400	≤ 1 000
		600	≤ 1 000
	5	200	≤ 1 000
		400	≤ 1 000
		600	≤ 1 000
	6	200	≤ 1 000
		400	≤ 1 000
		600	≤ 1 000

**Tableau V.6. - Activité HTO des eaux des flancs de l'atoll de Fangataufa en 2010.**

Lieu	Radiale	Profondeur (m)	Activité (Bq.m <sup>-3</sup> )
Bison à Frégate	1	200	≤ 1 000
		400	≤ 1 000
		600	≤ 1 000
	2	200	≤ 1 000
		400	≤ 1 000
		600	≤ 1 000
	3	200	≤ 1 000
		400	≤ 1 000
		600	≤ 1 000
4	200	≤ 1 000	
	400	≤ 1 000	
	600	≤ 1 000	

Les valeurs mesurées sont, comme les années antérieures, 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<sup>-3</sup>).

### **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.

Cinq filets grésés 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.



#### **Prélèvement du plancton océanique des flancs d'atoll.**

Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie  $\gamma$ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.

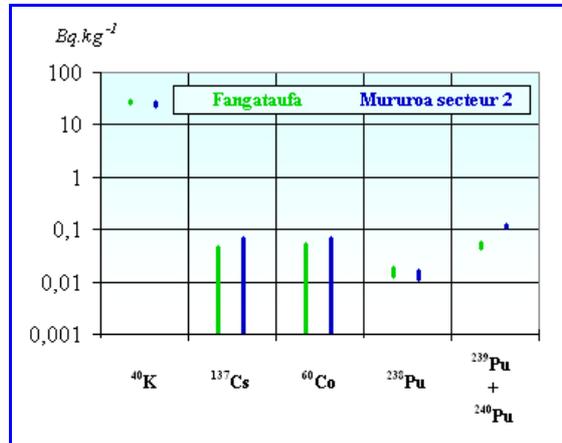
L'édition 2009 du guide de surveillance radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa précise que la mesure du strontium 90 ne sera effectuée que si la spectrométrie gamma met en évidence la présence de césium 137.

### **V.3.2. - LA RADIOACTIVITE DU PLANCTON OCEANIQUE DES FLANCS D'ATOLL**

Le tableau V.7. et la figure V.14. présentent les résultats des mesures de la radioactivité du plancton océanique aux abords immédiats des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

**Tableau V.7. - Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup>) du plancton des flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa en 2010.**

Lieux	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Fangataufa	21/04/2010	27,3 ± 2,3	≤ 0,046	≤ 0,052	0,016 ± 0,003	0,051 ± 0,006
Mururoa secteur 2	23/04/2010	25,2 ± 2,7	≤ 0,07	≤ 0,07	0,014 ± 0,003	0,12 ± 0,01



**Figure V.14. - Activité du plancton des flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa en 2010.**

### *Radioactivité d'origine naturelle*

#### *Potassium 40*

La moyenne géométrique du potassium 40, calculée sur les 118 échantillons de plancton récoltés sur les flancs d'atolls depuis 1986, est de 20,4 Bq.kg<sup>-1</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [3 ; 134] Bq.kg<sup>-1</sup> traduit la dispersion des résultats. Les valeurs 2010 qui varient entre 25 et 28 Bq.kg<sup>-1</sup> sont comprises dans cet intervalle.

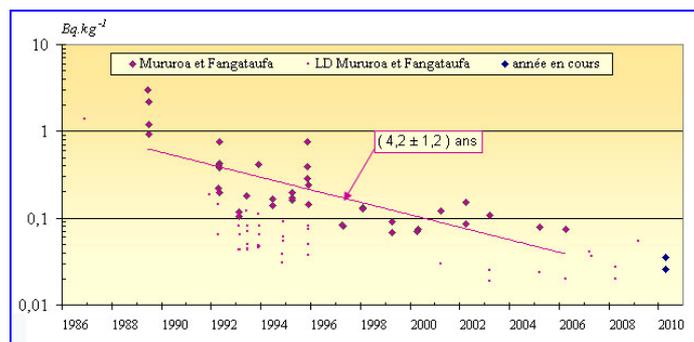
### *Radioactivité d'origine artificielle*

#### *Césium 137 et strontium 90*

Comme les années précédentes, les activités en césium 137 sont au niveau 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 réalisée.

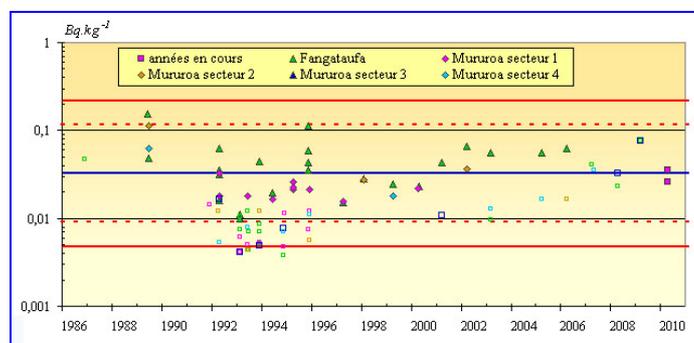
#### *Cobalt 60*

L'analyse statistique des données enregistrées depuis 1986, autour des deux atolls, ne permet pas de mettre en évidence entre les différents secteurs (Figure V.15.). Les valeurs décroissent globalement selon une période de 4,2 ans légèrement inférieure à celle du cobalt 60 (5,27 ans). Les valeurs inférieures aux limites de détection ont été extraites de la population, elles figurent sur les courbes (carrés sans coloration de fond).



**Figure V.15. - Activité massique en  $^{60}\text{Co}$  du plancton des flancs d'atoll de Mururoa et Fangataufa depuis 1986.**

A l'aide de cette période, les valeurs mesurées sur les 38 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées à la date de référence. La figure V.16. donne par année de prélèvement les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,03 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7% [0,005 ; 0,22] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2010 sont comme depuis quelques années, inférieure aux limites de détection.

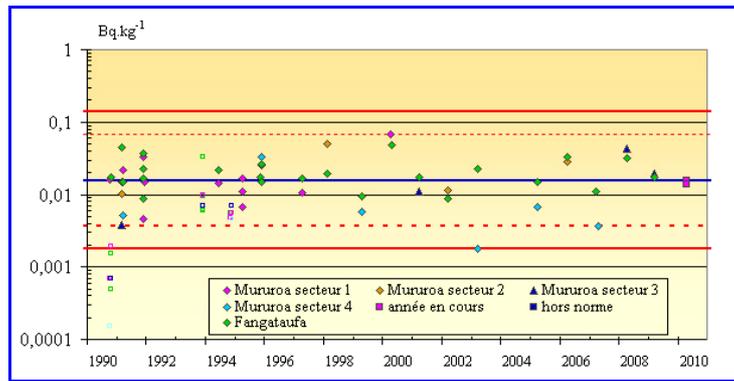


**Figure V.16. - Activité massique en  $^{60}\text{Co}$  du plancton des flancs d'atoll de Mururoa et Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### ***Plutonium 238***

La figure V.17. donne, par année de prélèvement, les valeurs ramenées à la date de référence. La moyenne géométrique, calculée sur les 53 échantillons prélevés depuis 1990, est de  $0,016 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 0,14] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs hors normes ou inférieures aux limites de détections sont extraites de la population, elles figurent sur les courbes (carrés bleus pour les hors normes et carrés sans couleur de fond pour les LD).

Les valeurs 2010 ( $0,014$  et  $0,016 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) sont comprises dans cet intervalle.

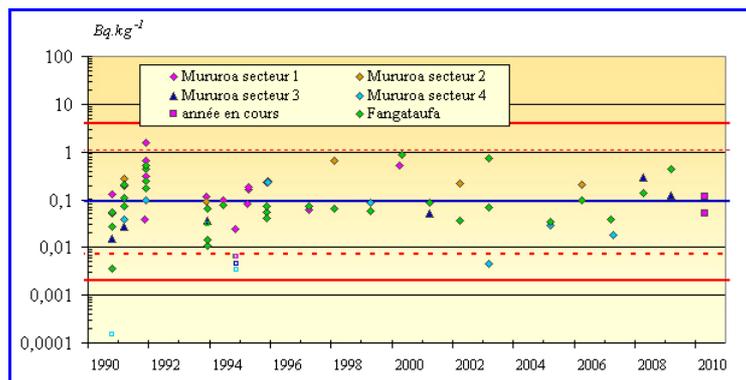


**Figure V.17. - Activité massique en <sup>238</sup>Pu du plancton des flancs d'atoll de Mururoa et Fangataufa depuis 1990 (valeurs ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010).**

### *Plutonium 239 + plutonium 240*

Les valeurs mesurées sur les 66 échantillons prélevés depuis 1990, sont données sur la figure V.18. La moyenne géométrique est de 0,09 Bq.kg<sup>-1</sup>.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 4] Bq.kg<sup>-1</sup> traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs hors normes ou inférieures aux limites de détection sont extraites de la population, elles figurent sur les courbes (carrés bleus pour les hors normes et carrés sans couleur de fond pour les limites de détections). Les valeurs 2010 (0,12 et 0,31 Bq.kg<sup>-1</sup>) sont comprises dans cet intervalle.



**Figure V.18. - Activité massique en (<sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu) du plancton des flancs d'atoll de Mururoa et Fangataufa depuis 1990.**

### Rapport plutonium 238 / (plutonium 239 + plutonium 240)

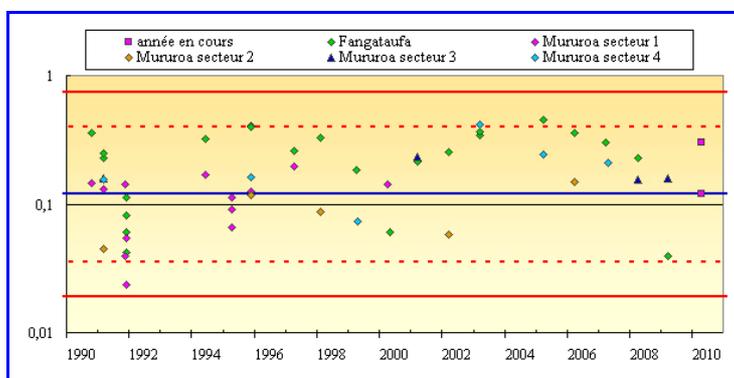
Les rapports des activités  $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$  2010 sont donnés dans le tableau V.8. :

**Tableau V.8. - Rapport d'activité  $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$  du plancton océanique en 2010.**

Lieux	$^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$
Fangataufa	$0,31 \pm 0,07$
Mururoa secteur 2	$0,12 \pm 0,03$

Les valeurs sur les 53 rapports, calculés sur les valeurs des deux atolls depuis 1990, sont données dans la figure V.19. La moyenne géométrique est de 0,15. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,017 ; 1,3] traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2010 qui varient entre (0,12 et 0,30 Bq.kg<sup>-1</sup>) sont comprises dans cet intervalle.



**Figure V.19. - Rapport d'activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) du plancton océanique des flancs d'atoll à Mururoa et Fangataufa depuis 1990.**

## V.4. - LES CREVETTES DE PROFONDEUR

Les crevettes des profondeurs comprennent plusieurs espèces de la famille des Pandalidae (*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  $\gamma$ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.



Récupération d'un casier de type « Noirmoutier » avec des crevettes.

#### V.4.2. - LA RADIOACTIVITE DES CREVETTES DE PROFONDEUR

Le tableau V.9. et la figure V.20. présentent les résultats des mesures effectuées sur les crevettes pêchées à Mururoa.

**Tableau V.9. - Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup>) des crevettes de profondeur en 2010.**

Lieux	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Mururoa secteur 2	24/04/2010	67,2 ± 4,6	0,043 ± 0,013	≤ 0,28	≤ 0,046	≤ 0,0016	0,01 ± 0,004

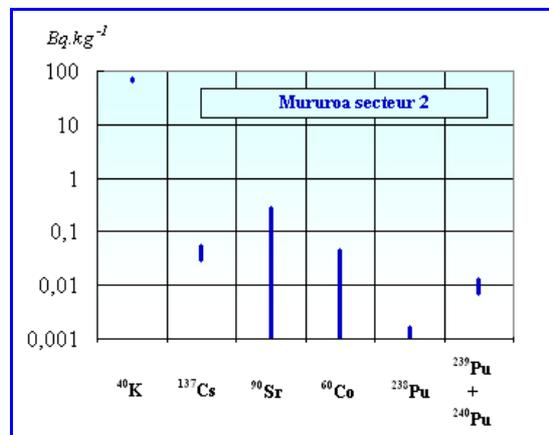


Figure V.20. - Activité massique des crevettes de profondeur en 2010.

#### *Radioactivité d'origine naturelle*

#### *Remarque préliminaire*

Jusqu'en 1998, des prélèvements avaient lieu à Fangataufa, les valeurs obtenues ont été rajoutées aux différentes figures à titre indicatif.

#### *Potassium*

La valeur moyenne en potassium 40, calculée sur les 84 échantillons prélevés depuis 1988, est de  $72,1 \pm 2,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [40 ; 104]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats. La valeur 2010 ( $67,2 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans de cet intervalle.

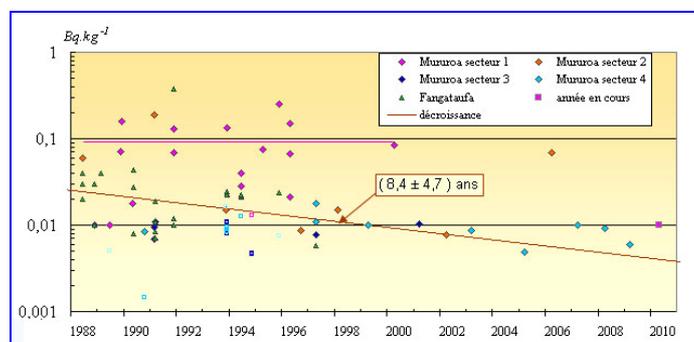
### **Radioactivité d'origine artificielle**

#### **Césium 137, cobalt 60, strontium 90, 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**

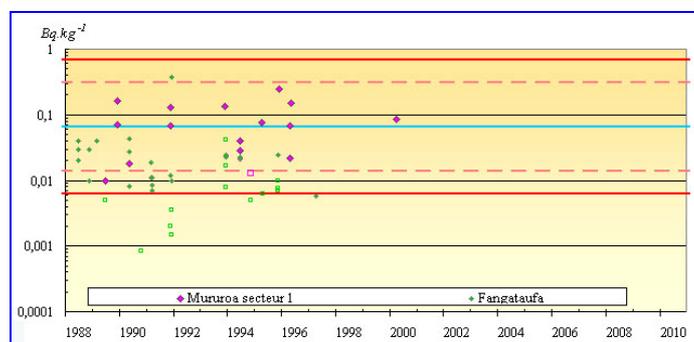
La figure V.21. présente les activités massiques en plutonium 239 + plutonium 240 des crevettes de profondeur. Les valeurs sont regroupées par secteur de prélèvement, celles du secteur 1 ne semble pas présenter de décroissance alors que l'ensemble des autres zones décroît avec une période apparente de 8,4 ans. Le secteur 1 étant localisé en face de la passe, il semble que le réservoir de prélèvement des crevettes soit alimenté par des eaux venant du lagon.



**Figure V.21. – Evolution de l'activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) des crevettes de profondeur depuis 1988.**

#### **Mururoa secteur 1**

La moyenne géométrique en (plutonium 239 + plutonium 240), calculée sur les résultats de mesure sur les 22 échantillons prélevés depuis 1986, est de  $0,07 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7% [0,006 ; 0,68]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des résultats (Figure V.22.). Il n'y a pas eu de prélèvement dans ce secteur en 2010.

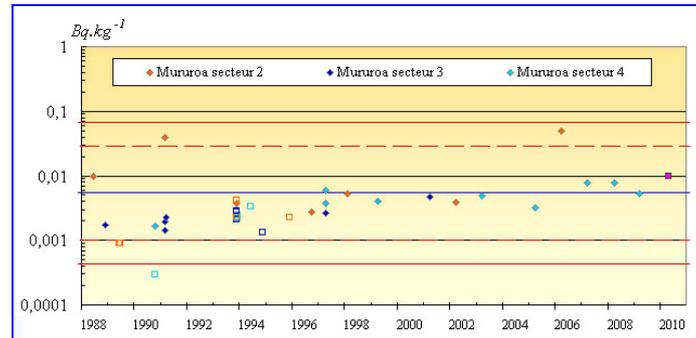


**Figure V.22. – Evolution de l'activité massique en ( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) des crevettes de profondeur dans le secteur 1 depuis 1988.**

#### **Mururoa sauf secteur 1**

A l'aide de la période apparente de 8,4 ans, les 39 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenés à la date de référence. La moyenne géométrique est de  $0,005 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,

l'intervalle de probabilité 99,7% [0,0004 ; 0,068] Bq.kg<sup>-1</sup> traduit la dispersion des résultats. Les valeurs inférieures aux limites de détection des appareils ont été retirées de la population, elles figurent dans les figures (carrés sans couleur de fond). La valeur 2010 (0,01 Bq.kg<sup>-1</sup>) est comprise dans cet intervalle (Figure V.23.).



**Figure V.23. – Evolution de l'activité massique en (<sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu) des crevettes de profondeur depuis 1988.**

## 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 2010, 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).



**Récupération d'un leurre sur un thon à dents de chien.**

### 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.

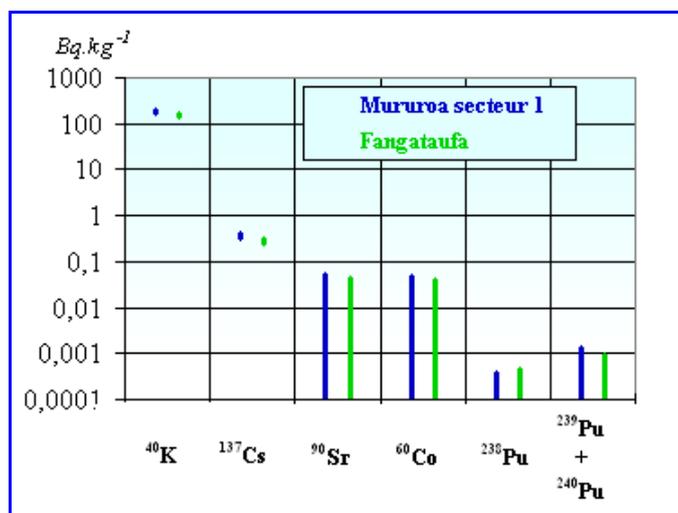
Le poisson est découpé pour recueillir les filets jusqu'à l'obtention de trois kilogrammes. Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie  $\gamma$ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.

### V.5.2. - LA RADIOACTIVITE DE LA GYMNASARDE

Le tableau V.10. et la figure V.24. présentent les résultats des mesures de la radioactivité réalisées sur la gymnosarde pêchée aux abords de Mururoa et de Fangataufa en 2010.

**Tableau V.10. - Activité massique (Bq.kg<sup>-1</sup>) de la chair de gymnosarde en 2010.**

Lieux	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Mururoa secteur I	25/04/2010	177 ± 14	0,37 ± 0,06	≤ 0,052	≤ 0,049	≤ 0,00037	≤ 0,0013
Fangataufa	16/05/2010	155 ± 12	0,29 ± 0,05	≤ 0,046	≤ 0,041	≤ 0,00047	≤ 0,00096



**Figure V.24. - Activité massique de la chair de gymnosarde en 2010.**

#### *Radioactivité d'origine naturelle*

##### *Potassium 40*

La valeur moyenne en potassium 40 calculée sur les 61 échantillons prélevés depuis 1987, est de  $150 \pm 6$  Bq.kg<sup>-1</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [80 ; 219] Bq.kg<sup>-1</sup> traduit la dispersion des résultats. Les valeurs 2010 qui sont égales à 155 et 177 Bq.kg<sup>-1</sup> sont comprises dans de cet intervalle.

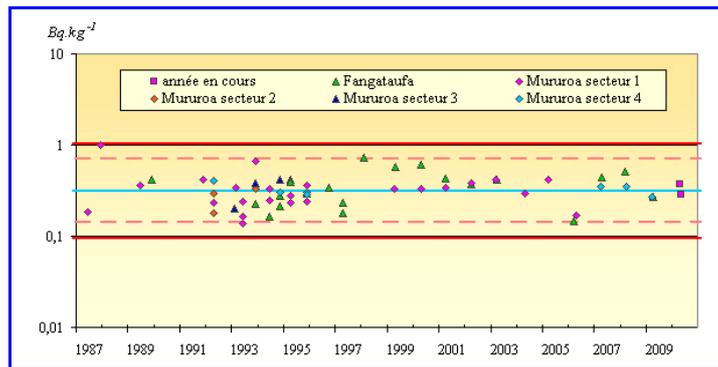
#### *Radioactivité d'origine artificielle*

##### *Césium 137*

À l'aide de la période du césium 137 (30 ans), les valeurs mesurées sur les 59 échantillons prélevés depuis 1987, sont ramenées au 1<sup>er</sup> mai 2010.

La moyenne géométrique est de 0,31 Bq.kg<sup>-1</sup>. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,1 ; 1] traduit la dispersion des valeurs.

Les valeurs 2010 qui sont égales à 0,29 et 0,37 Bq.kg<sup>-1</sup>, sont comprises dans cet intervalle (Figure V.25.).



**Figure V.25. - Activité massique en <sup>137</sup>Cs de la chair de gymnosarde depuis 1987. (valeurs ramenées au 01/05/2010).**

### ***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 réalisés et analysés en 2009. Les résultats figurent dans l'annexe B.

#### VI.2. - LE PLANCTON OCEANIQUE

Conformément au Guide de surveillance, les eaux océaniques n'ont pas été prélevées cette année. Le prélèvement a été réalisé et analysé en 2009. Les résultats figurent dans l'annexe C.

#### 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*) et 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 et de bonites à ventre rayé.**

##### 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.

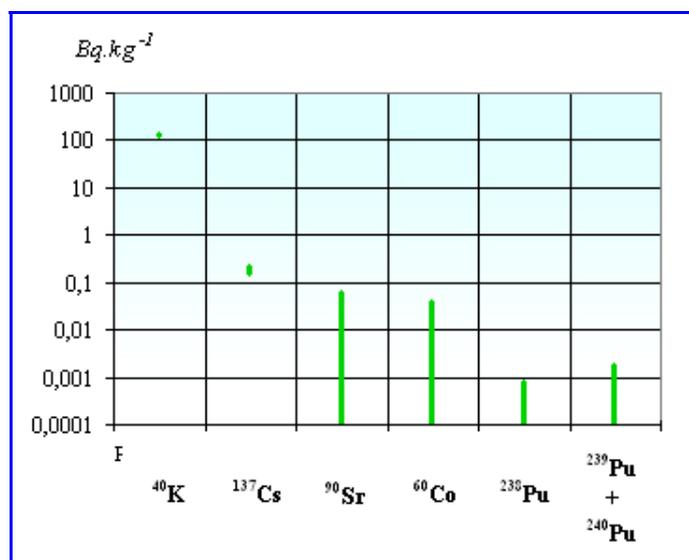
Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie  $\gamma$ . Des opérations d'extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.

### VI.3.2. - LA RADIOACTIVITE DES POISSONS PELAGIQUES HAUTURIERS

Le tableau VI.1. et la figure VI.1. présentent les résultats des mesures de la radioactivité dans la bonite pêchée en 2009.

**Tableau VI.1. - Activité massique ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ ) de la chair de la bonite à ventre rayé en 2009.**

Espèce	Lieux	Date	$^{40}\text{K}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )	$^{137}\text{Cs}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )	$^{90}\text{Sr}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )	$^{60}\text{Co}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )	$^{238}\text{Pu}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )
bonites à ventre rayé	Mururoa secteur I	25/04/2010	$132 \pm 10$	$0,19 \pm 0,04$	$\leq 0,064$	$\leq 0,039$	$\leq 0,00078$	$\leq 0,0018$



**Figure VI.1. - Activité massique de la chair de la bonite à ventre rayé en 2010.**

#### *Radioactivité d'origine naturelle*

##### *Potassium 40*

Depuis 1989, 9 échantillons de bonite à ventre rayé et 35 échantillons de thon à nageoires jaunes ont été prélevés au large des deux atolls.

La valeur moyenne en potassium 40 est de  $133 \pm 8 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [57 ; 203]  $\text{Bq.kg}^{-1}$  traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 ( $132 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.

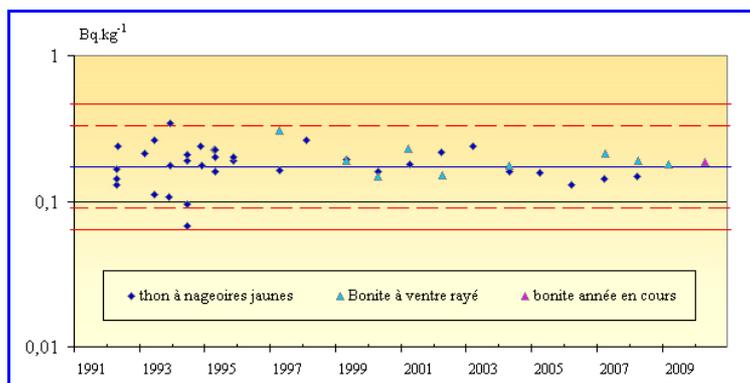
#### *Radioactivité d'origine artificielle*

##### *Césium 137*

La figure VI.2. présente la radioactivité en  $^{137}\text{Cs}$  des poissons pélagiques prélevés depuis 1991.

La moyenne géométrique calculée, sur les 44 échantillons prélevés depuis 1992, est de  $0,18 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,07 ; 0,45] traduit la dispersion des valeurs.

La valeur 2010 ( $0,19 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) est comprise dans cet intervalle.



**Figure VI.2. - Activité massique en  $^{137}\text{Cs}$  de la chair du thon à nageoires jaunes et de la bonite à ventre rayé, depuis 1992.**

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

Les valeurs enregistrées en 2010 pour le cobalt 60, le strontium 90, le plutonium 238 et le plutonium 239 + plutonium 240 sont, comme les années antérieures, au niveau des 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, mérus) 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 et bonite à ventre rayé),

D'une manière générale, les mesures 2010 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 local.

Les eaux souterraines présentent globalement une radioactivité stable depuis 1997.

Le marquage radiologique significatif en plutonium est localisé au fond des lagons, dans les sédiments des anciens points zéro des essais aériens (zone Dindon et Denise à Mururoa et Frégate à Fangataufa) ainsi que dans le banc de sable immergé par 10 m de profondeur en regard du motu Colette. L'impact sanitaire de ce plutonium est considéré comme négligeable par l'AIEA. Les mesures réalisées sur les échantillons de sédiments, en dehors des zones précitées, ne montrent pas d'augmentation des niveaux d'activité en plutonium.

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 LA SURVEILLANCE DES EAUX OCEANIQUES

Annexe C 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.

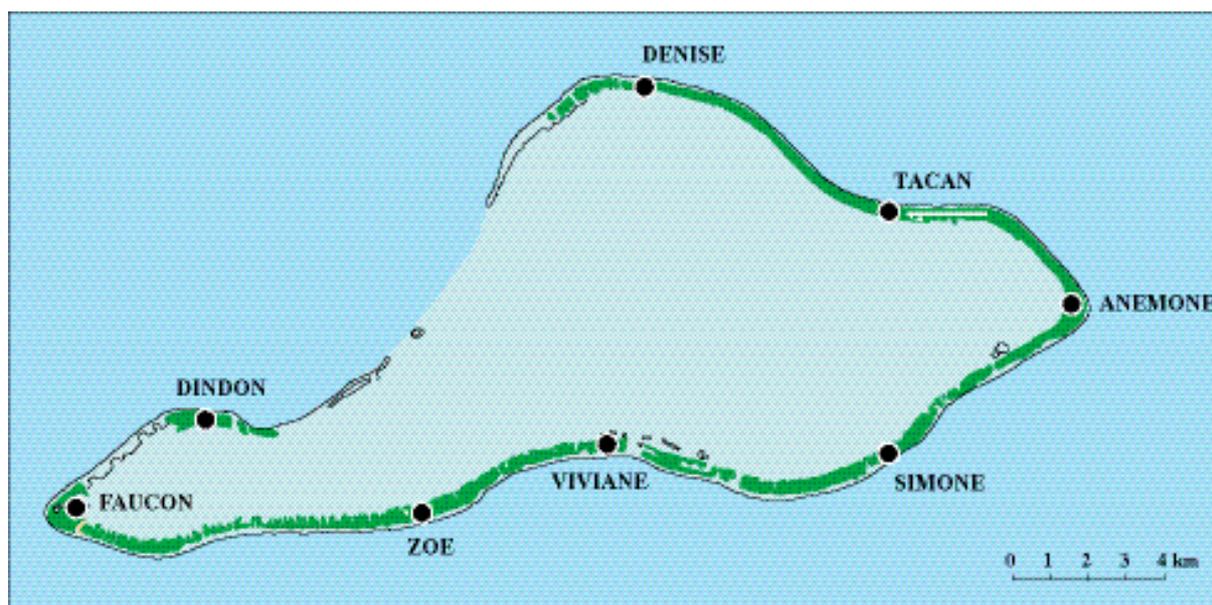
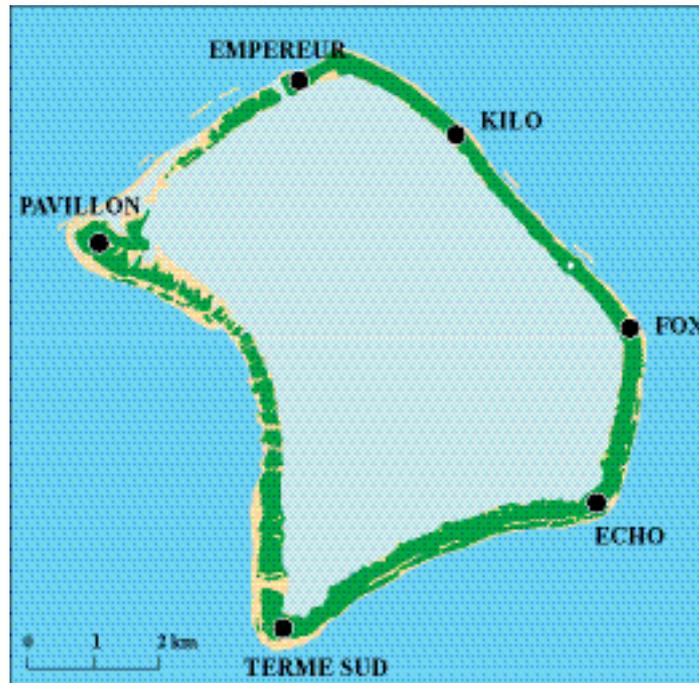


Figure A.1. : Emplacements des prélèvements de sols sur l'atoll de Mururoa.

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  $\gamma$  sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du  $^{137}\text{Cs}$  et autres émetteurs  $\gamma$ ),
- une recherche et une mesure du plutonium ( $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) par spectrométrie  $\alpha$  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  $1 \text{ Bq.kg}^{-1}$  (le dosage du  $^{90}\text{Sr}$  est réalisé par comptage  $\beta$  de son descendant radioactif  $^{90}\text{Y}$  sur compteur proportionnel bas bruit).

## A.2. - LES RESULTATS

Les résultats des mesures de la radioactivité des principaux radionucléides naturels ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{235}\text{U}$  et  $^{228}\text{Ac}$ ) et artificiels ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  et  $^{241}\text{Am}$ ) obtenus en 2006 sont donnés. Ils sont exprimés en Becquerel par kilogramme de matière sèche ( $\text{Bq.kg}^{-1}$  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	Coordonnées 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 <sup>-1</sup> 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
<i>Moyenne</i>	<i>9,36 ± 3,81</i>

Tableau A.2. : Activité <sup>40</sup>K des sols de Mururoa en 2003.

En 2006, l'activité moyenne en <sup>40</sup>K des sols prélevés aux 8 points de surveillance est de 9,4 Bq.kg<sup>-1</sup> sec (de 3,1 à 18,9 Bq.kg<sup>-1</sup> sec). La valeur de Dindon est inférieure à la limite de détection.

La figure A.3. présente l'activité en <sup>40</sup>K des sols depuis 1998.

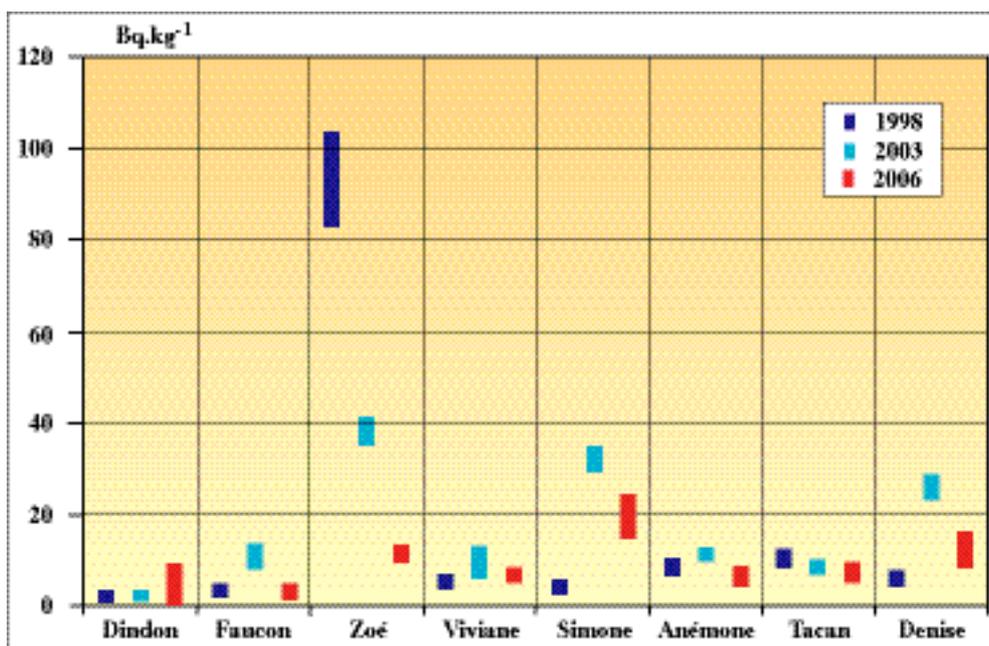


Figure A.3. : Activité  $^{40}\text{K}$  des sols de Mururoa depuis 1998.

Les activités en  $^{40}\text{K}$  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<sup>-1</sup>).

### Famille naturelle de l'Uranium 238

Le tableau A.3. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

Lieux	Activité $^{234}\text{Th}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	Activité $^{226}\text{Ra}^*$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	Activité $^{210}\text{Pb}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> 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	1,19 ± 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
<i>Moyenne</i>	<i>19,2 ± 1,85</i>	<i>1,75**</i>	<i>24,4**</i>

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

\*\* : moyenne géométrique.

Tableau A.3. : Activités  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$  des sols de Mururoa en 2006.

Les activités ( $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$ ) 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 ( $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$ ), émetteurs  $\gamma$  de la famille naturelle de l'Uranium 238.

L'activité en  $^{234}\text{Th}$  des sols prélevés en 2006 est comprise entre 16,1 et 22,9  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sec (19,2  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sec en moyenne).

L'activité des sols en  $^{226}\text{Ra}$  est hétérogène. Elle est comprise entre 0,77 et 8,39  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sec (1,75  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sec en moyenne).

L'activité des sols en  $^{210}\text{Pb}$  est aussi très hétérogène. Elle est comprise entre 14,9 et 49  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sec (24,4  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sec en moyenne).

Un important fractionnement de la chaîne naturelle de  $^{238}\text{U}$  est observé dans les sols. Les résultats de mesure permettent de mettre en évidence une discontinuité de la chaîne au niveau du  $^{226}\text{Ra}$  ; les activités du  $^{226}\text{Ra}$  sont plus de 10 fois plus faibles que celles du  $^{234}\text{Th}$ . Le radium soluble est lessivé par les importantes précipitations. Le  $^{210}\text{Pb}$  est d'origine tellurique.

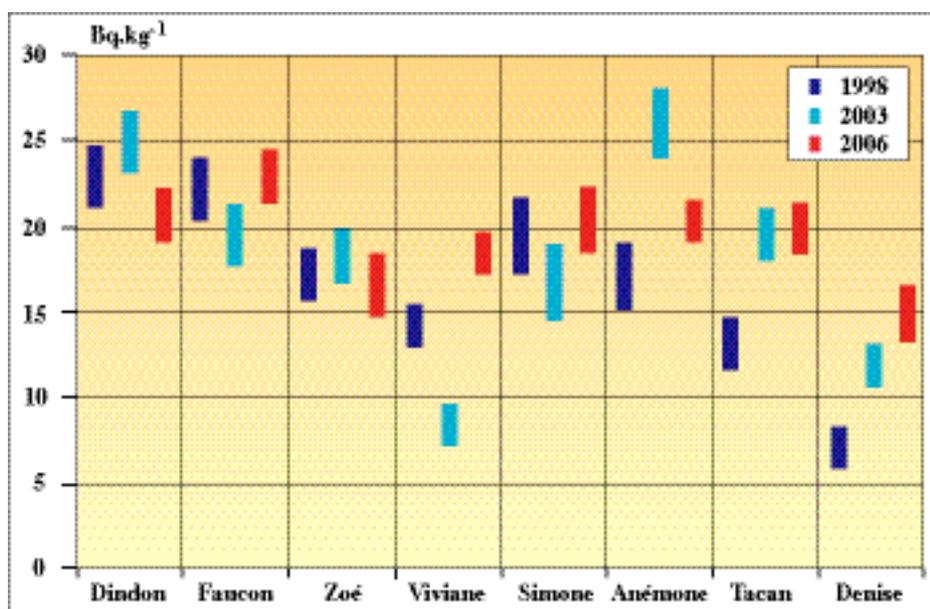


Figure A.4. : Activité  $^{234}\text{Th}$  des sols de Mururoa depuis 1998.

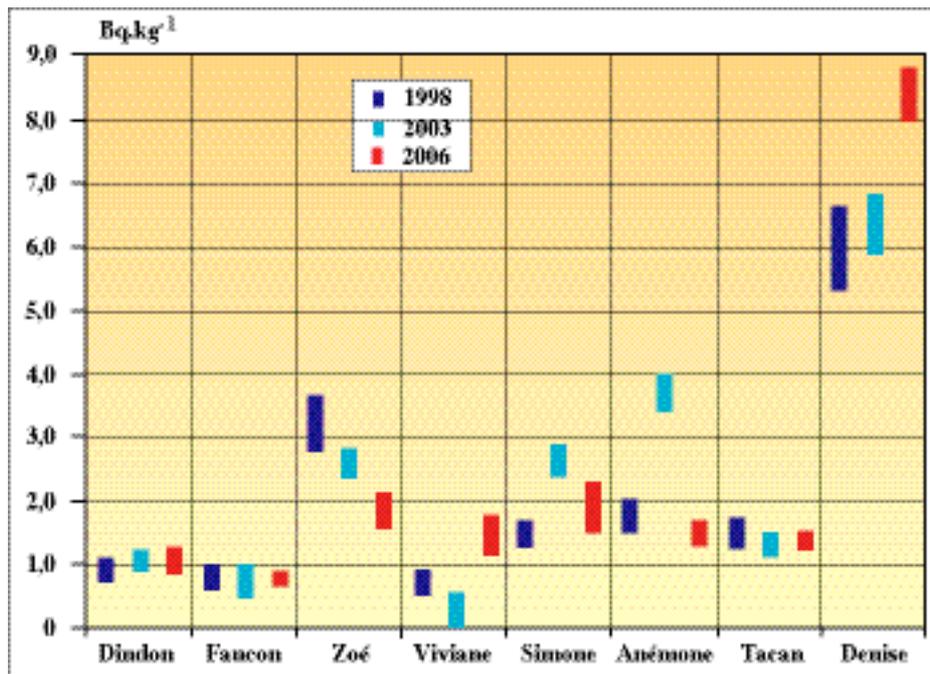


Figure A.5. : Activité  $^{226}\text{Ra}$  des sols de Mururoa depuis 1998.

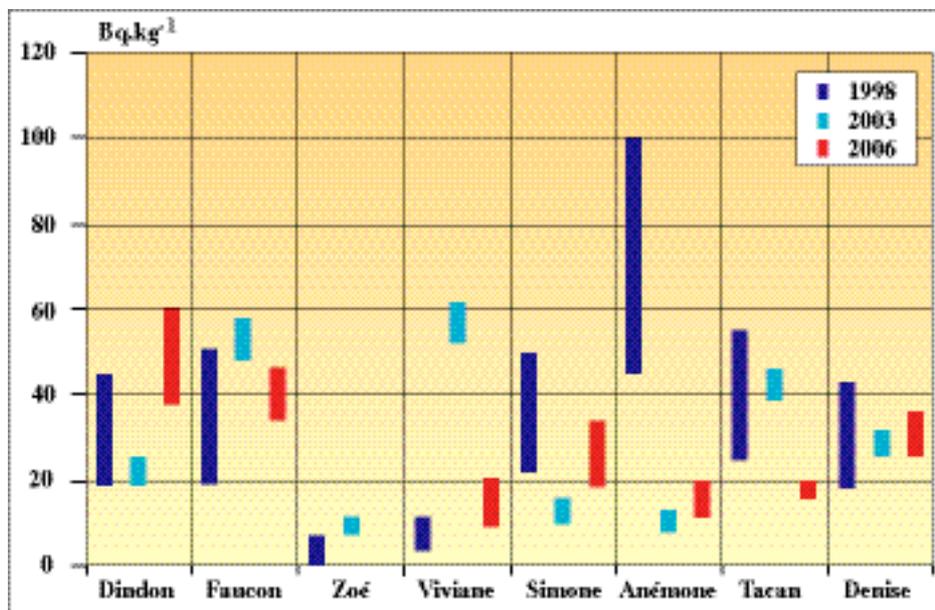


Figure A.6. : Activité  $^{210}\text{Pb}$  des sols de Mururoa en 1998.

## Uranium 235

Le tableau A.4 regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)
DINDON	≤ 0,31
FAUCON	1,31 ± 0,46
ZOE	0,72 ± 0,18
VIVIANE	0,72 ± 0,18
SIMONE	≤ 0,23
ANEMONE	1,21 ± 0,08
TACAN	1,13 ± 0,12
DENISE	≤ 2,30
<i>Moyenne géométrique</i>	<i>0,64</i>

Tableau A.4. : Activité <sup>235</sup>U des sols de Mururoa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en <sup>235</sup>U des sols prélevés aux 8 points de surveillance est de 0,64 Bq.kg<sup>-1</sup> sec (de ≤ 0,23 à 1,31 Bq.kg<sup>-1</sup> sec).

La figure A.7. présente l'activité des sols en <sup>235</sup>U.

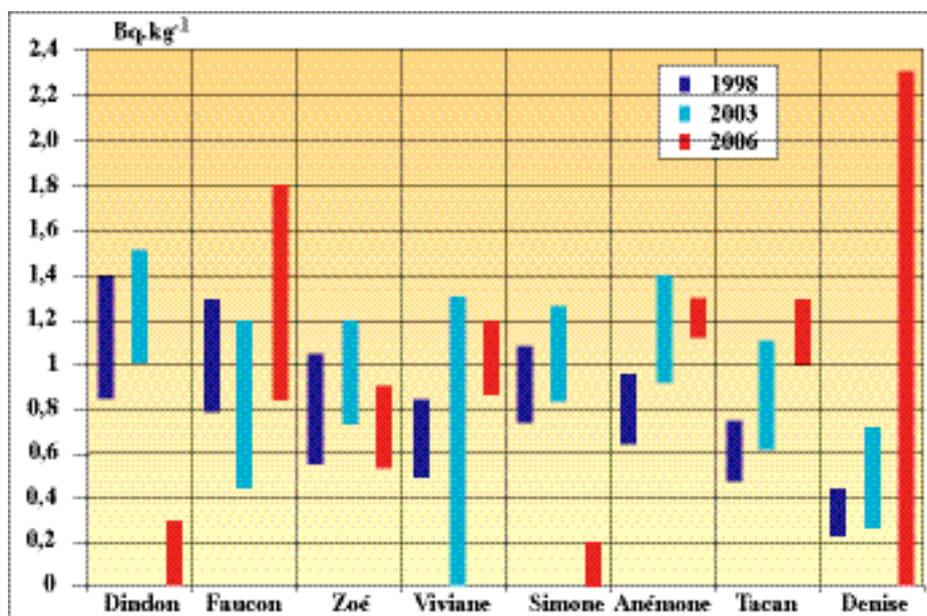


Figure A.7. : Activité <sup>235</sup>U des sols de Mururoa depuis 1998.

Les activités en <sup>235</sup>U mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le <sup>234</sup>Th. On peut en conclure qu'il y a équilibre radioactif entre <sup>238</sup>U et son descendant <sup>234</sup>Th dans les sols, puisque le rapport d'activité <sup>238</sup>U/<sup>235</sup>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 <sup>234</sup>Th/<sup>235</sup>U obtenus depuis 1998.

Lieux	Rapport $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$
DINDON	non calculé
FAUCON	$17,5 \pm 6,2$
ZOE	$22,4 \pm 5,9$
VIVIANE	$17,8 \pm 3,2$
SIMONE	non calculé
ANEMONE	$16,8 \pm 1,5$
TACAN	$17,6 \pm 2,2$
DENISE	non calculé
<i>Moyenne</i>	<i><math>18,4 \pm 2,01</math></i>

Tableau A.5. : Rapport des activités  $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$  des sols de Mururoa en 2006.

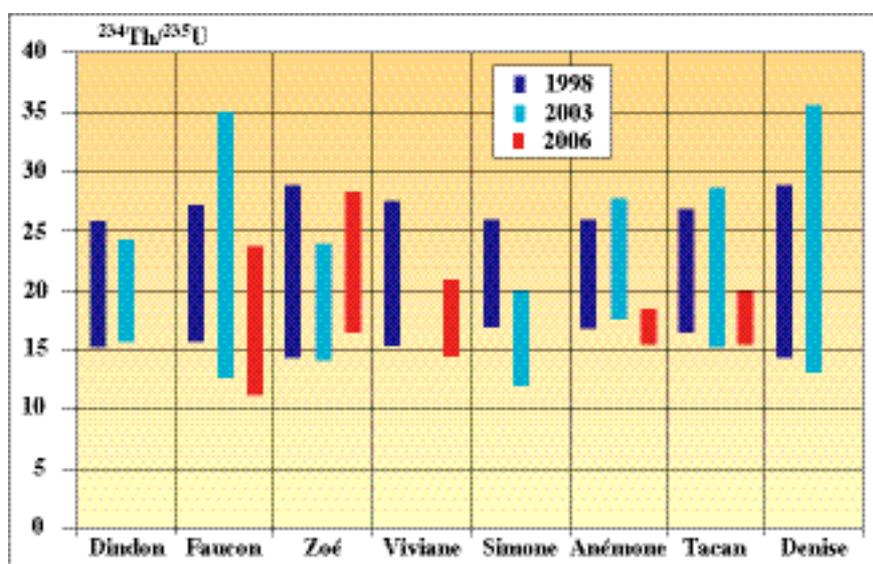


Figure A.8. : Rapport des activités  $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$  des sols de Mururoa depuis 1998.

### Famille naturelle du Thorium 232

La radioactivité des sols en  $^{228}\text{Ac}$  (Actinium), radionucléide émetteur  $\gamma$ , faisant partie de la famille naturelle du  $^{232}\text{Th}$  est donnée par le tableau A.6.

Toutes les valeurs sont inférieures à la limite de détection.

Lieux	Activité ( $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{sec}$ )
DINDON	$\leq 1,10$
FAUCON	$\leq 0,46$
ZOE	$\leq 0,34$
VIVIANE	$\leq 0,28$
SIMONE	$\leq 0,81$
ANEMONE	$\leq 0,40$
TACAN	$\leq 0,40$
DENISE	$\leq 0,69$

Tableau A.6. : Activité  $^{228}\text{Ac}$  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 <sup>-1 sec</sup> )			
	<sup>60</sup> Co	<sup>125</sup> Sb	<sup>137</sup> Cs	<sup>155</sup> 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 <sup>60</sup>Co, <sup>125</sup>Sb, <sup>137</sup>Cs et <sup>155</sup>Eu des sols de Mururoa en 2006.

Toutes les valeurs, à l'exception de Denise en <sup>137</sup>Cs, sont inférieures ou proches de la limite de détection.

La figure A.9. présente l'activité des sols en <sup>137</sup>Cs. Des valeurs équivalentes avaient été observées lors de la campagne de prélèvements de sols de 1992.

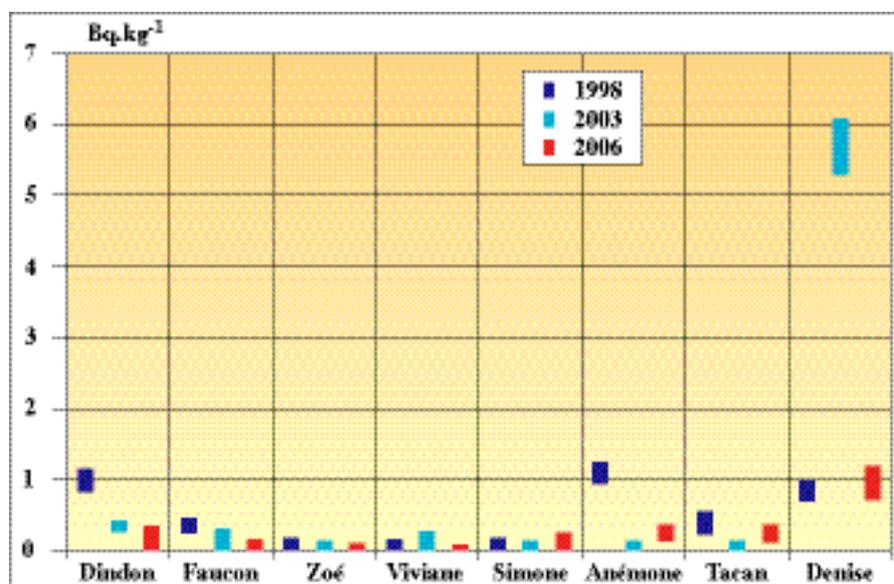


Figure A.9. : Activité <sup>137</sup>Cs des sols de Mururoa depuis 1998.

### Strontium 90

Les valeurs en <sup>137</sup>Cs étant inférieures à 1 Bq.kg<sup>-1</sup>, le <sup>90</sup>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 <sup>-1</sup> sec)		Rapport
	<sup>238</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu	<sup>238</sup> Pu/ <sup>239</sup> Pu+ <sup>240</sup> 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 <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu+<sup>240</sup>Pu et rapport <sup>238</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu+<sup>240</sup>Pu des sols de Mururoa en 2006.

Les activités en <sup>238</sup>Pu et en <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu des sols prélevés en 2006 varient :  
 de ≤ 0,038 à 1,77 Bq.kg<sup>-1</sup> sec en <sup>238</sup>Pu  
 de 0,39 à 34,6 Bq.kg<sup>-1</sup> sec en <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu.

Les années précédentes et comme lors de la campagne de prélèvements de sols de 1992, les prélèvements effectués à FAUCON présentait 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 <sup>238</sup>Pu et en <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu depuis 1998. Les valeurs mesurées en FAUCON sont très dispersées (contamination par tache).

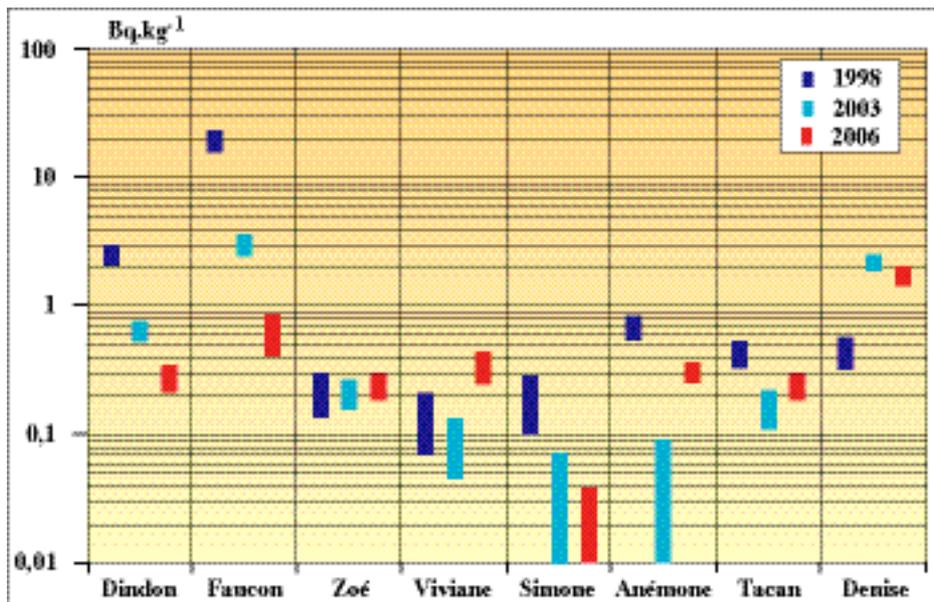


Figure A.10. : Activité <sup>238</sup>Pu des sols de Mururoa depuis 1998.

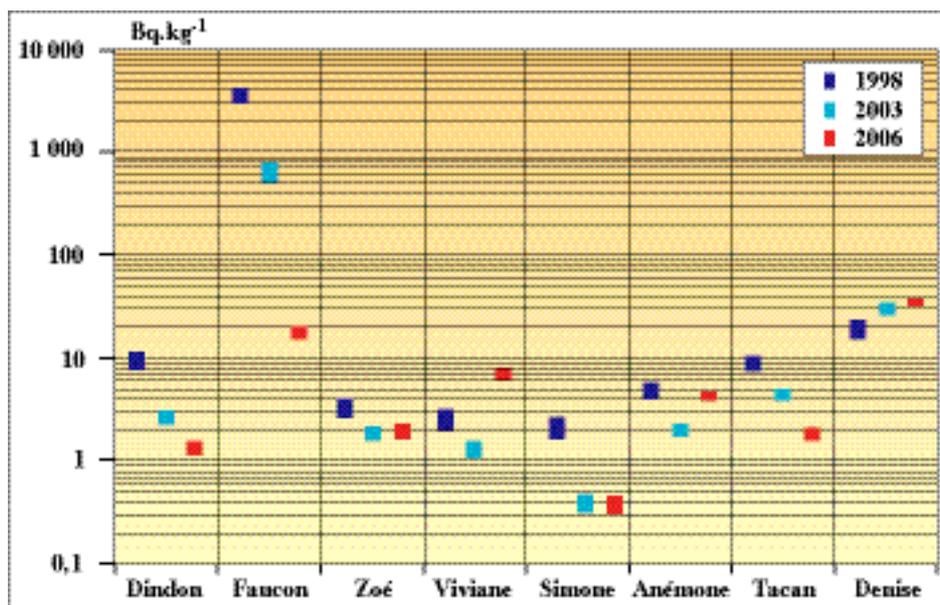


Figure A.11. : Activité en  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  des sols de Mururoa depuis 1998.

Le rapport des activités  $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  est très hétérogène, il varie de 0,013 à 0,21 (voir figure A.12).

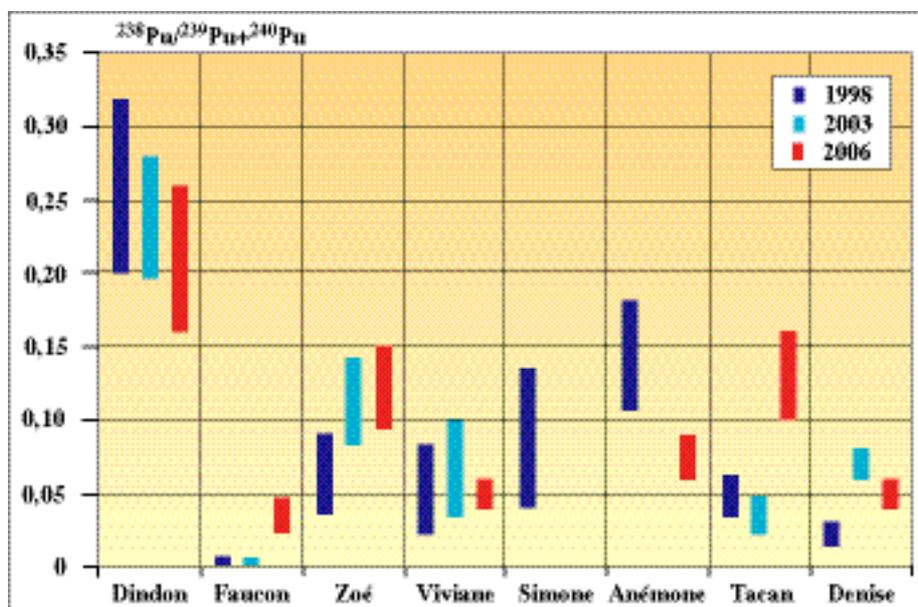


Figure A.12. : Rapport des activités  $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  des sols de Mururoa depuis 1998.

## Américium 241

Le tableau A.9. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> 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 <sup>241</sup>Am des sols de Mururoa en 2006.

L'activité en <sup>241</sup>Am des sols prélevés en 2006 varie de ≤ 0,17 à 2,86 Bq.kg<sup>-1</sup> sec.

La figure A.13 présente l'activité des sols en <sup>241</sup>Am depuis 1998.

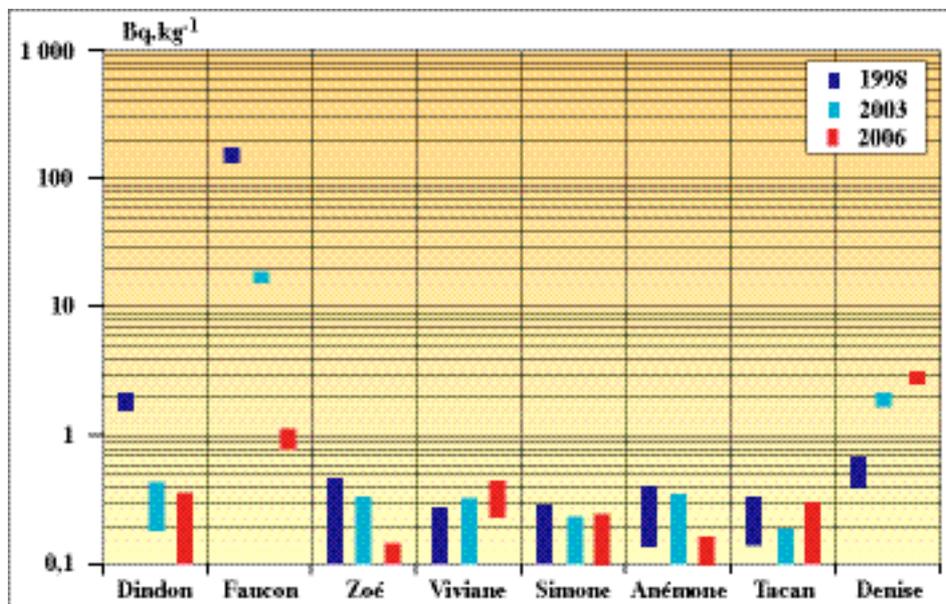


Figure A.13. : Activité <sup>241</sup>Am des sols de Mururoa depuis 1998.

## Récapitulatif

Les figures A.14. et A.15. présentent respectivement les activités des principaux radionucléides naturels ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{235}\text{U}$ ) et artificiels ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  +  $^{240}\text{Pu}$  et  $^{241}\text{Am}$ ) détectés dans les sols de Mururoa en 2006.

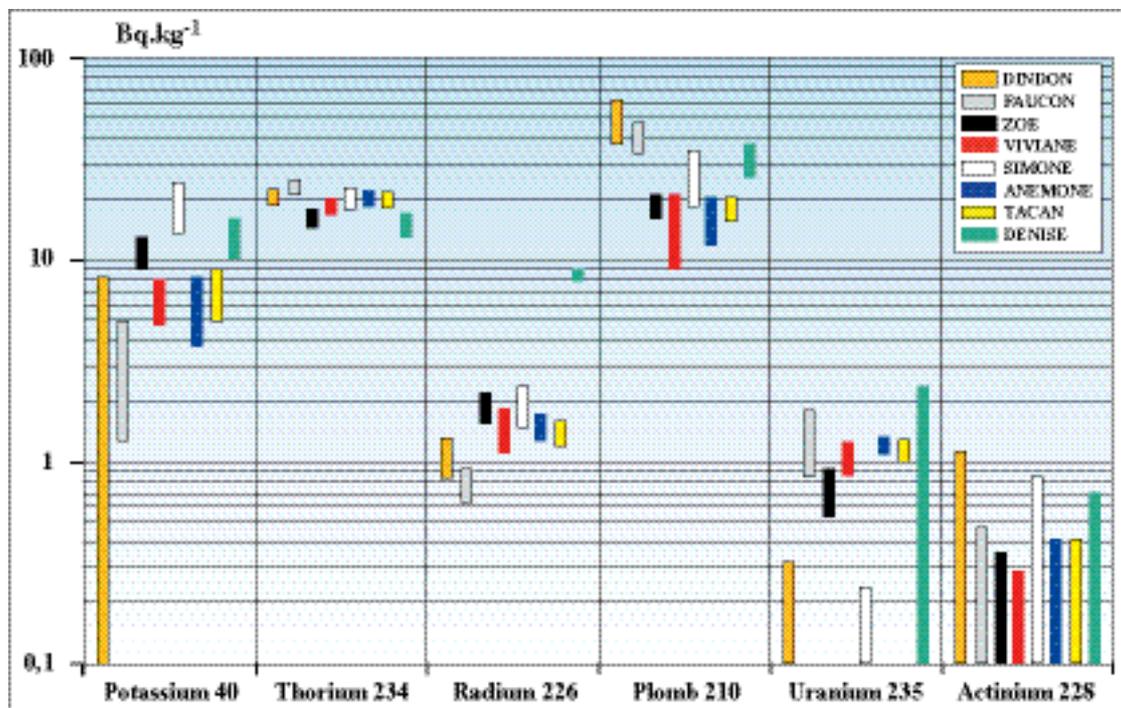


Figure A.14. : Radioactivité naturelle des sols de Mururoa en 2006.

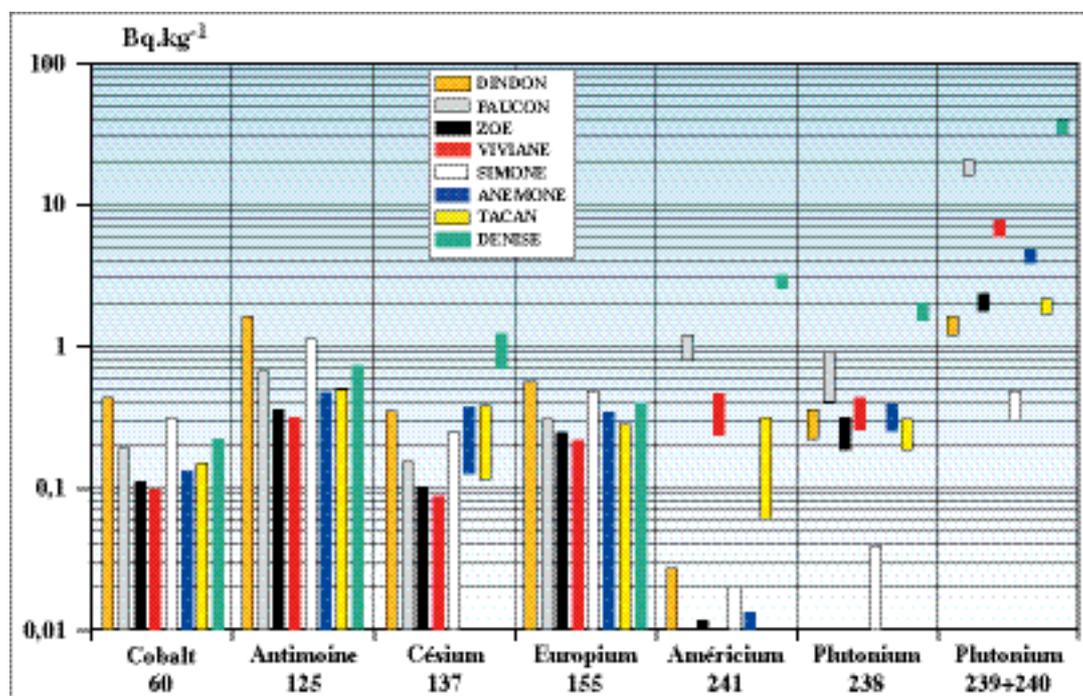


Figure A.15. : Radioactivité artificielle des sols de Mururoa en 2006.

### 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	Coordonnées 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 <sup>-1</sup> 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
<i>Moyenne</i>	<i>2,01 ± 0,27</i>

Tableau A.11. : Activité <sup>40</sup>K des sols de Fangataufa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en <sup>40</sup>K des sols prélevés est de 2,01 ± 0,27 Bq.kg<sup>-1</sup> sec (de ≤ 4,1 à 2,44 Bq.kg<sup>-1</sup> sec).

La figure A.16 présente l'activité en <sup>40</sup>K des sols depuis 1998.

Les valeurs mesurées en 2006 sont, comme en 2003, plus faibles et moins dispersées que celles de 1998.

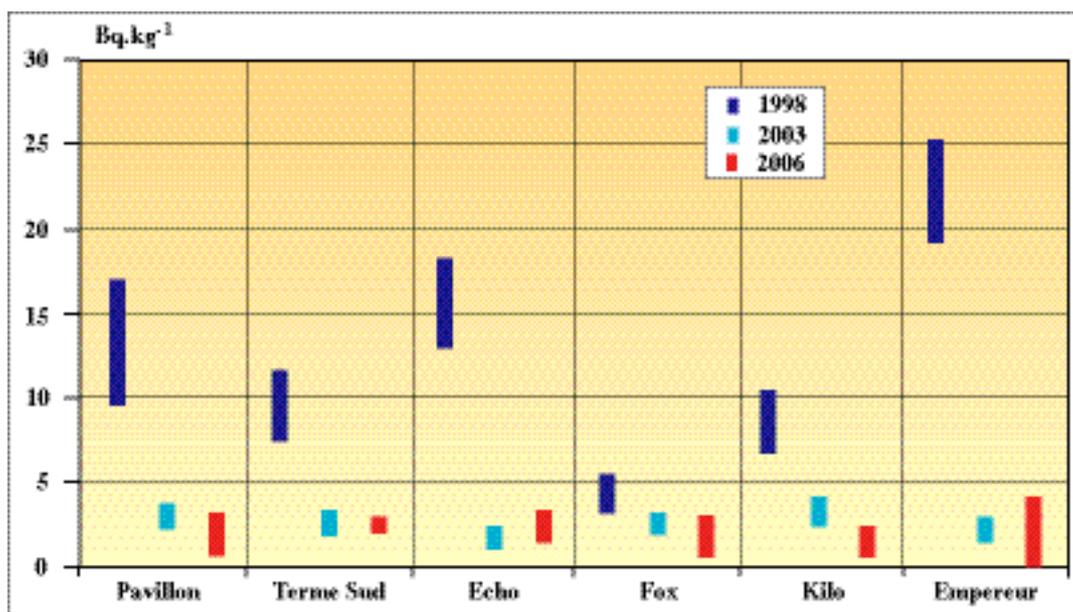


Figure A.16. : Activité  $^{40}\text{K}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

### Famille naturelle de l'Uranium 238

Le tableau A.12. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

Lieux	Activité $^{234}\text{Th}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	Activité $^{226}\text{Ra}^*$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)	Activité $^{210}\text{Pb}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> 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
<i>Moyenne</i>	<i>25,7 ± 3,1</i>	<i>0,9**</i>	<i>13,5**</i>

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

\*\* : moyenne géométrique.

Tableau A.12. : Activités  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$  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 ( $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$ ), émetteurs  $\gamma$  de la famille naturelle de l'Uranium 238.

L'activité en  $^{234}\text{Th}$  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  $^{226}\text{Ra}$  est comprise entre 0,76 et 1,16 Bq.kg $^{-1}$  sec.

L'activité des sols en  $^{210}\text{Pb}$  est comprise entre 6,2 et 24 Bq.kg $^{-1}$  sec.

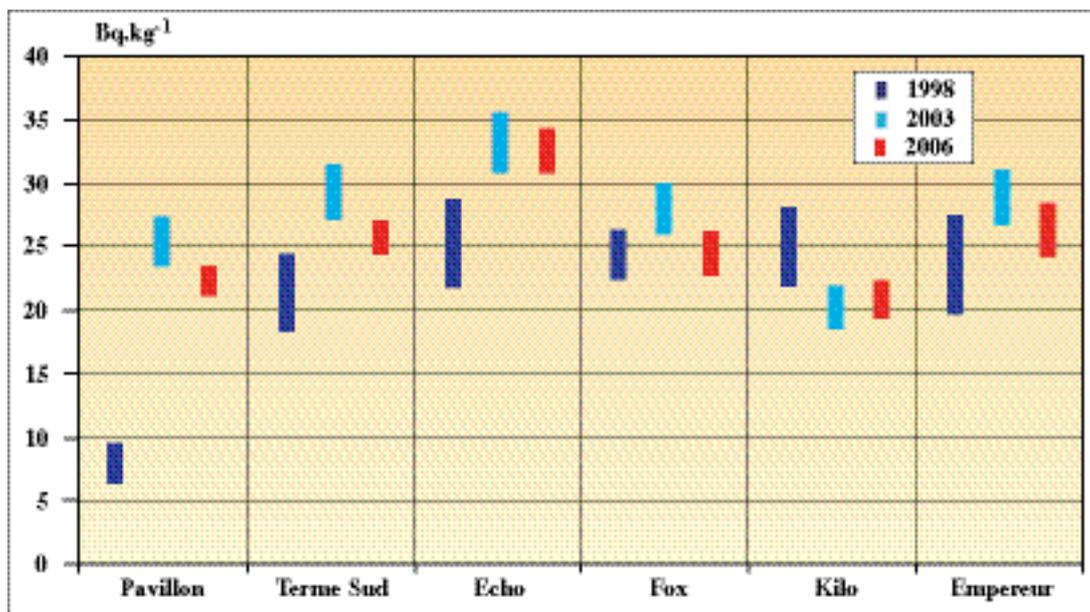


Figure A.17. : Activité  $^{234}\text{Th}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

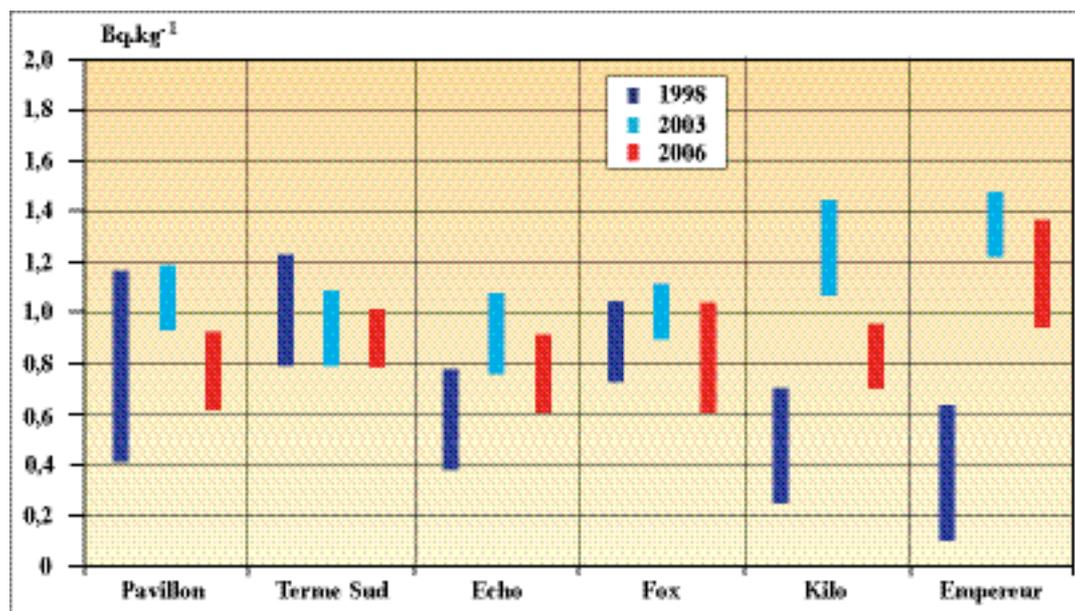


Figure A.18. : Activité  $^{226}\text{Ra}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

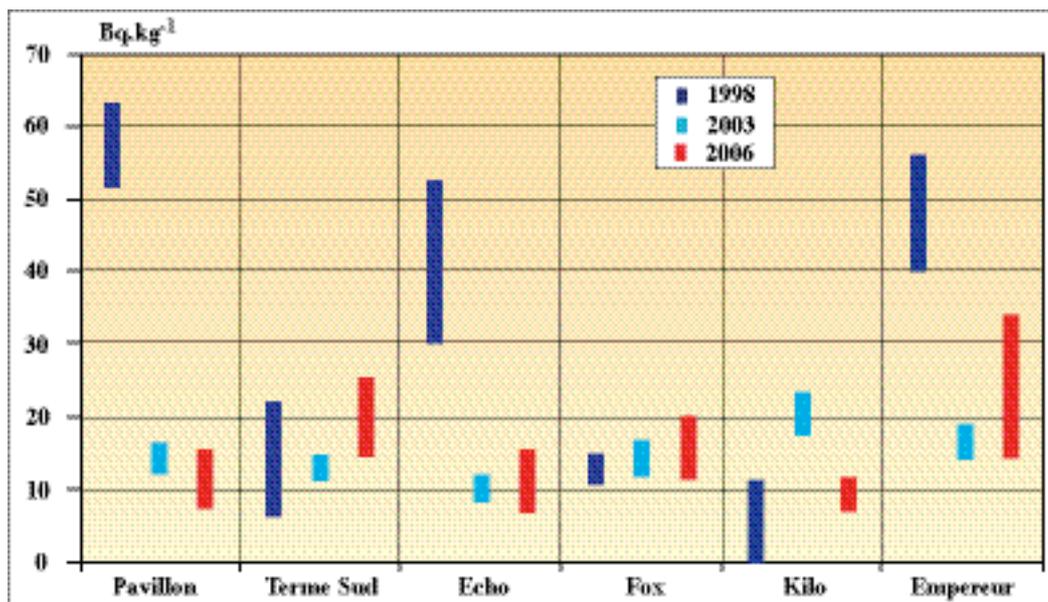


Figure A.19. : Activité  $^{210}\text{Pb}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

Comme pour les prélèvements de Mururoa, un important fractionnement de la chaîne naturelle de  $^{238}\text{U}$  est observé dans les sols de Fangataufa, les activités du  $^{226}\text{Ra}$  étant plus de 10 fois plus faibles que celles du  $^{234}\text{Th}$ .

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 <sup>-1</sup> 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
<i>Moyenne</i>	<i>1,21 ± 0,17</i>

Tableau A.13. : Activité  $^{235}\text{U}$  des sols de Fangataufa en 2006.

La figure A.20. présente l'activité des sols en  $^{235}\text{U}$  depuis 1998.

En 2006, l'activité moyenne en  $^{235}\text{U}$  des sols prélevés aux 6 points de surveillance est de 1,2 Bq.kg<sup>-1</sup> sec (de 0,96 à 1,52 Bq.kg<sup>-1</sup>sec).

Comme pour les sédiments, les valeurs relevées sont légèrement plus élevées à Fangataufa.

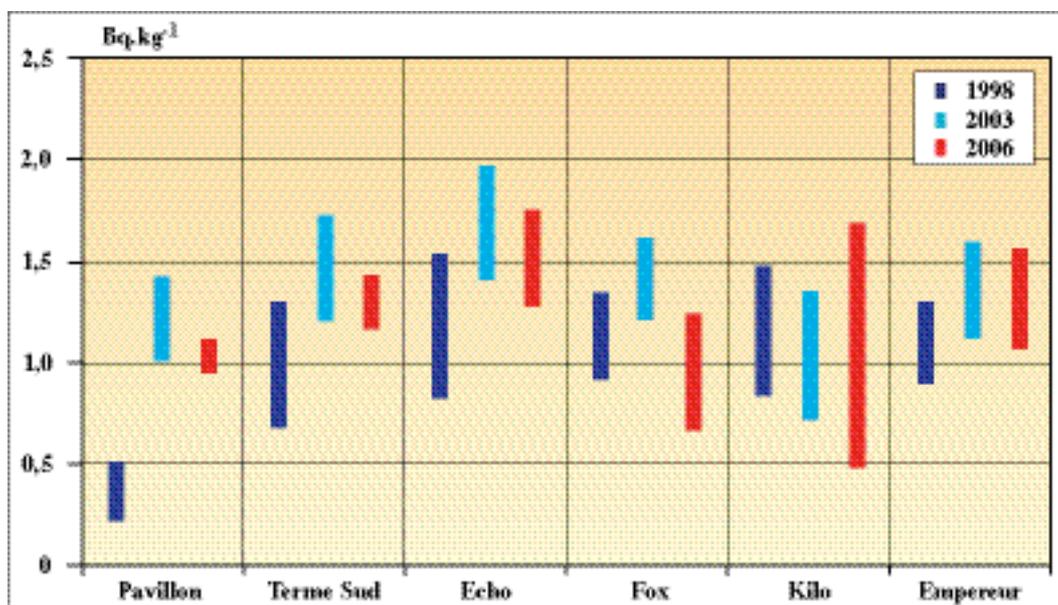


Figure A.20. : Activité  $^{235}\text{U}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

Les activités en  $^{235}\text{U}$  mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le  $^{234}\text{Th}$ . On peut en conclure qu'il y a équilibre radioactif entre  $^{238}\text{U}$  et son descendant  $^{234}\text{Th}$  dans les sols, puisque le rapport d'activité  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$  est de l'ordre de 20 pour l'Uranium naturel. Le tableau A.14. et la figure A.21. présentent les rapports d'activité  $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$  en 2006.

Lieux	Rapport $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$
PAVILLON	$21,4 \pm 1,9$
TERME SUD	$19,8 \pm 2,1$
ECHO	$21,5 \pm 3,4$
FOX	$25,5 \pm 7,6$
KILO	$19,1 \pm 10,6$
EMPEREUR	$19,9 \pm 4,0$
<i>Moyenne</i>	$21,2 \pm 1,9$

Tableau A.14. : Rapport des activités  $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$  des sols de Fangataufa en 2006.

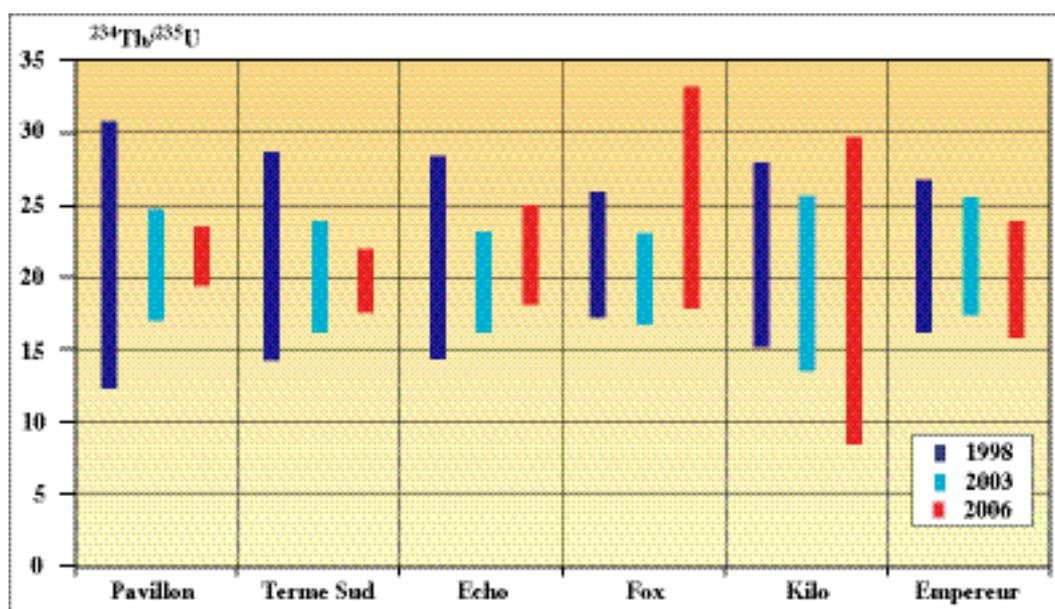


Figure A.21. : Rapport des activités  $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

### Famille naturelle du Thorium 232

La radioactivité des sols en  $^{228}\text{Ac}$  (Actinium), radionucléide émetteur  $\gamma$  faisant partie de la famille naturelle du  $^{232}\text{Th}$ , est donnée dans le tableau A.15. Les différentes valeurs sont inférieures aux limites de détection.

Lieux	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$ )
PAVILLON	$\leq 0,22$
TERME SUD	$\leq 0,25$
ECHO	$\leq 0,22$
FOX	$\leq 0,31$
KILO	$\leq 0,31$
EMPEREUR	$\leq 0,72$

Tableau A.15. : Activité  $^{228}\text{Ac}$  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 <sup>-1</sup> sec)			
	<sup>60</sup> Co	<sup>125</sup> Sb	<sup>137</sup> Cs	<sup>155</sup> 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	≤ 0,085	≤ 0,092	≤ 0,230	≤ 0,42

Tableau A.16. : Activité <sup>60</sup>Co, <sup>125</sup>Sb, <sup>137</sup>Cs et <sup>155</sup>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 <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs et <sup>155</sup>Eu des sols depuis 1998.

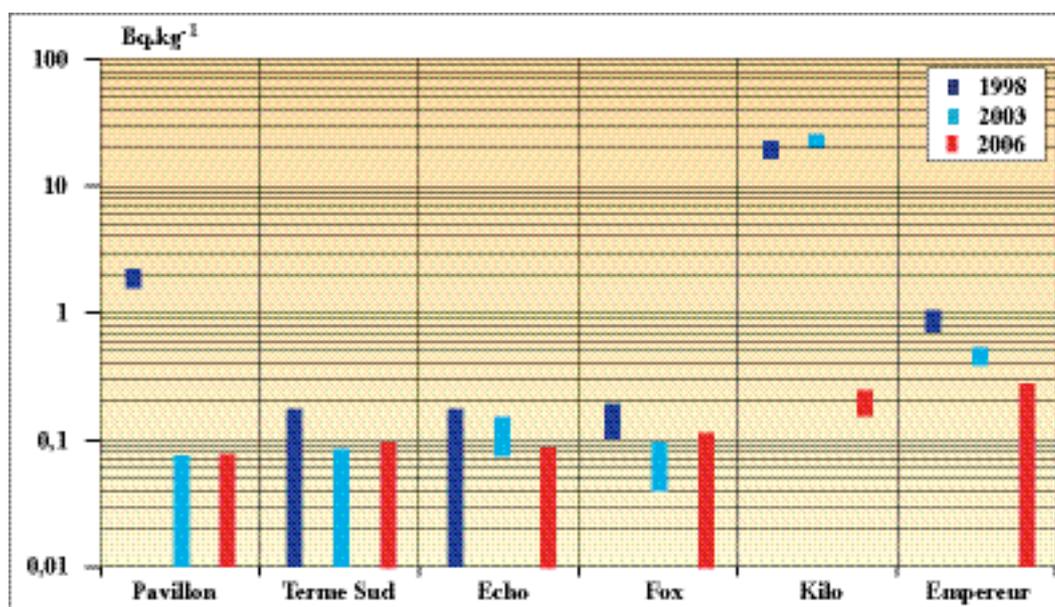


Figure A.22. : Activité <sup>60</sup>Co des sols de Fangataufa depuis 1998.

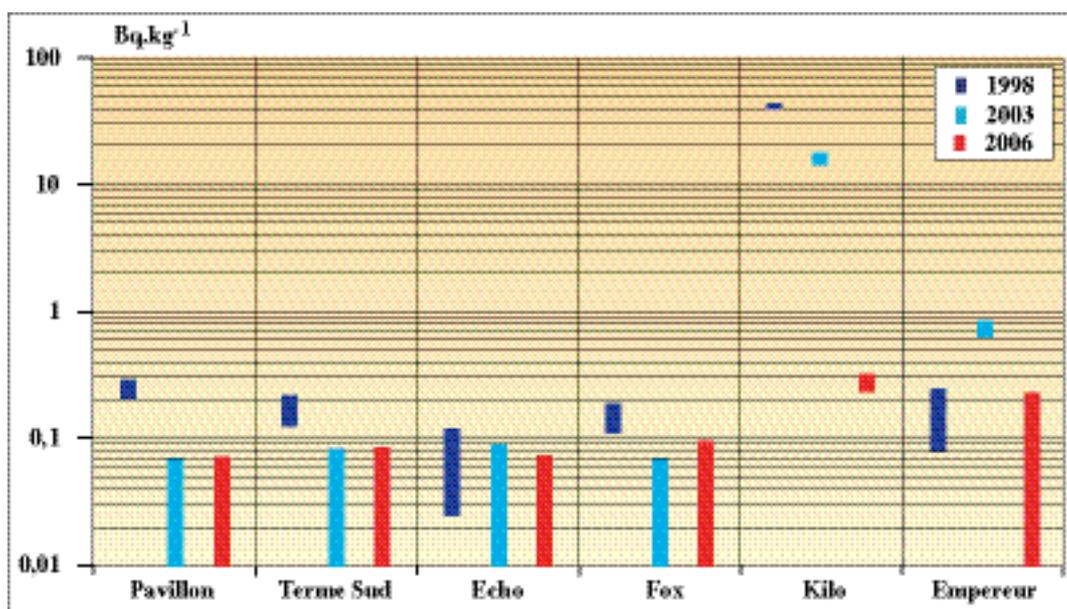


Figure A.23. : Activité  $^{137}\text{Cs}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

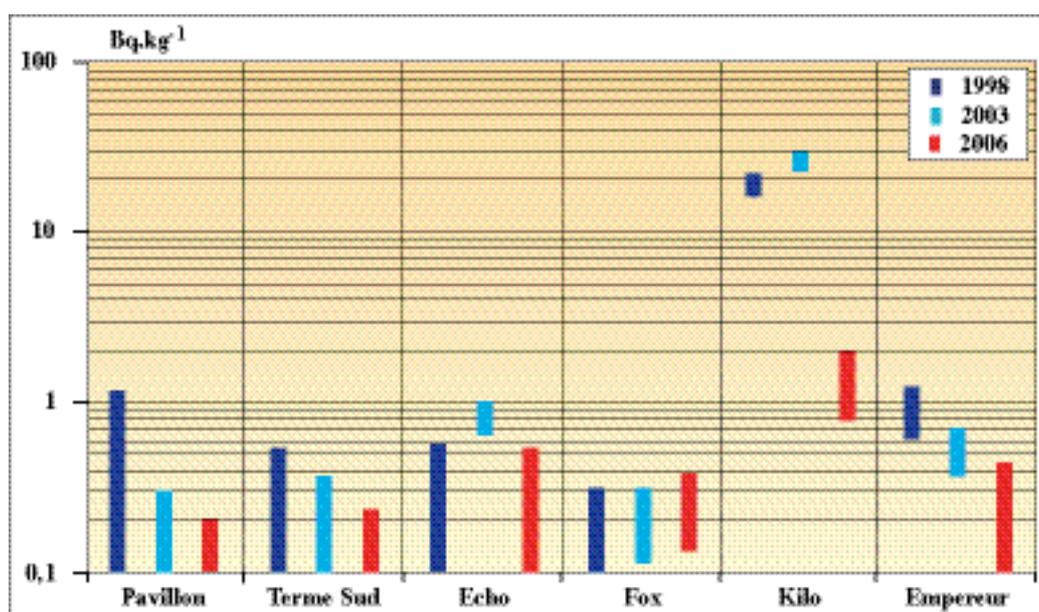


Figure A.24. : Activité  $^{155}\text{Eu}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

### Strontium 90

Les valeurs mesurées en césium 137 étant inférieures à 1 Bq.kg $^{-1}$ , la recherche du strontium 90 n'a pas été faite.

## Plutonium

Le tableau A.17. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)		Rapport
	<sup>238</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu	<sup>238</sup> Pu/ <sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> 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 <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu et rapport <sup>238</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu des sols de Fangataufa en 2006.

Les activités en <sup>238</sup>Pu et en <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu des sols prélevés en 2006 varient :  
de 0,19 à 20,3 Bq.kg<sup>-1</sup> sec pour le <sup>238</sup>Pu  
de 0,47 à 57 Bq.kg<sup>-1</sup> sec pour le <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu.

Le rapport des activités <sup>238</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>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 <sup>238</sup>Pu et en <sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu depuis 1998 et la figure A.27. le rapport <sup>238</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu + <sup>240</sup>Pu depuis 1998.

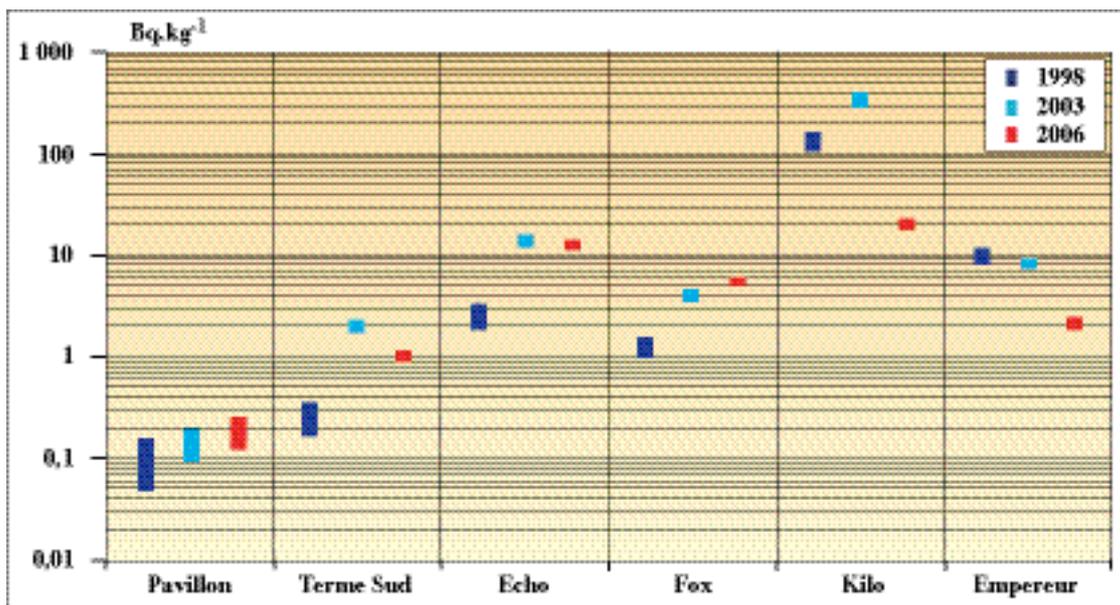


Figure A.25. : Activité <sup>238</sup>Pu des sols de Fangataufa depuis 1998.

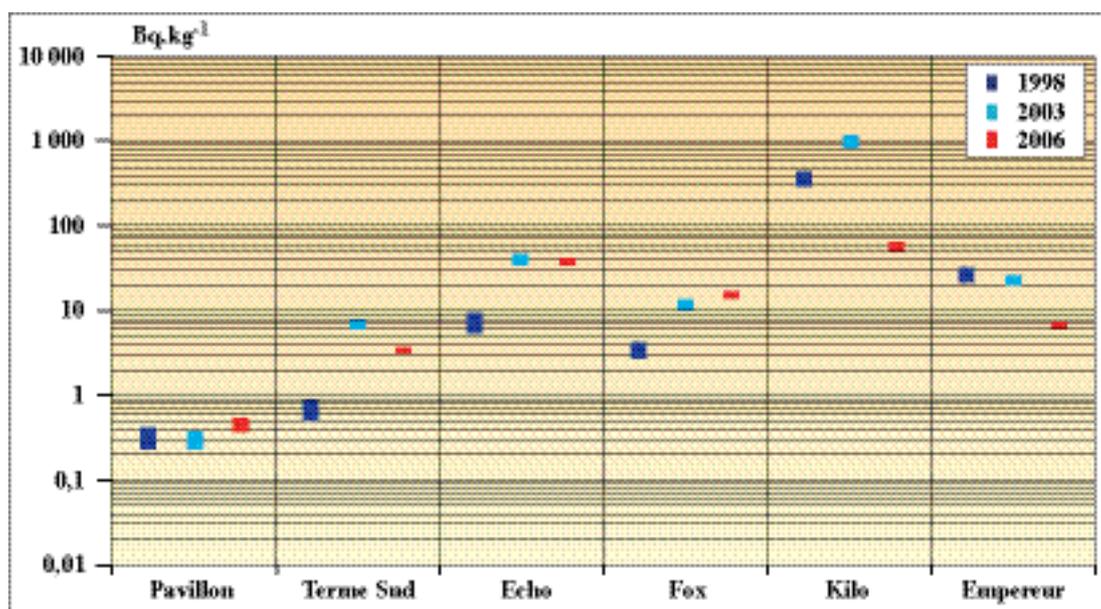


Figure A.26. : Activité  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

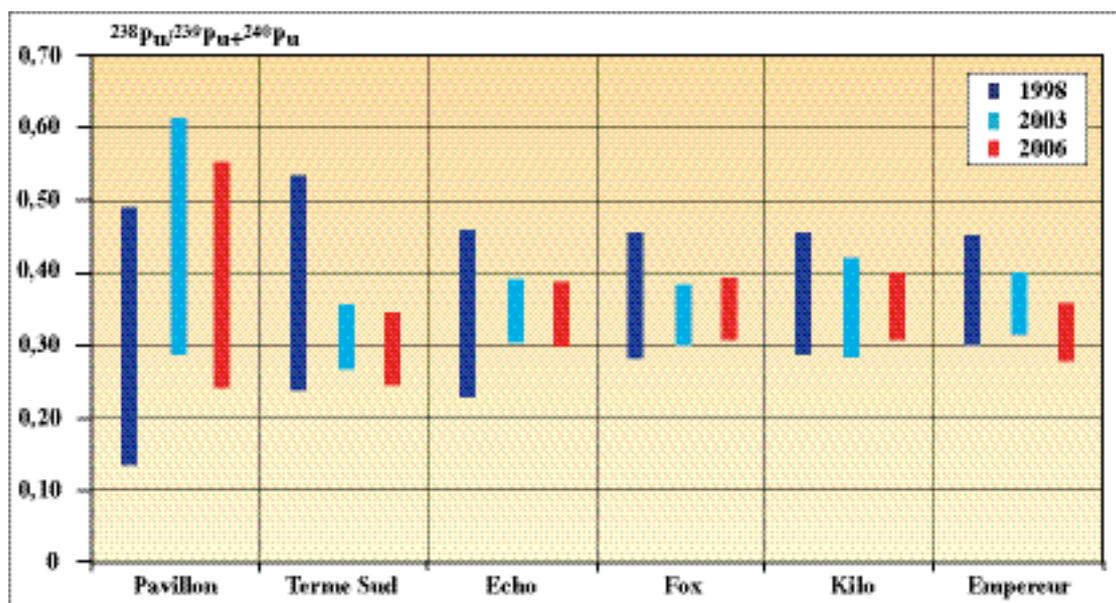


Figure A.27. : Rapport des activités  $^{238}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  des sols de Fangataufa depuis 1998.

### Américium 241

Le tableau A.18. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

Lieux	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> 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 <sup>241</sup>Am des sols de Fangataufa en 2006.

La figure A.28. présente les résultats depuis 1998.

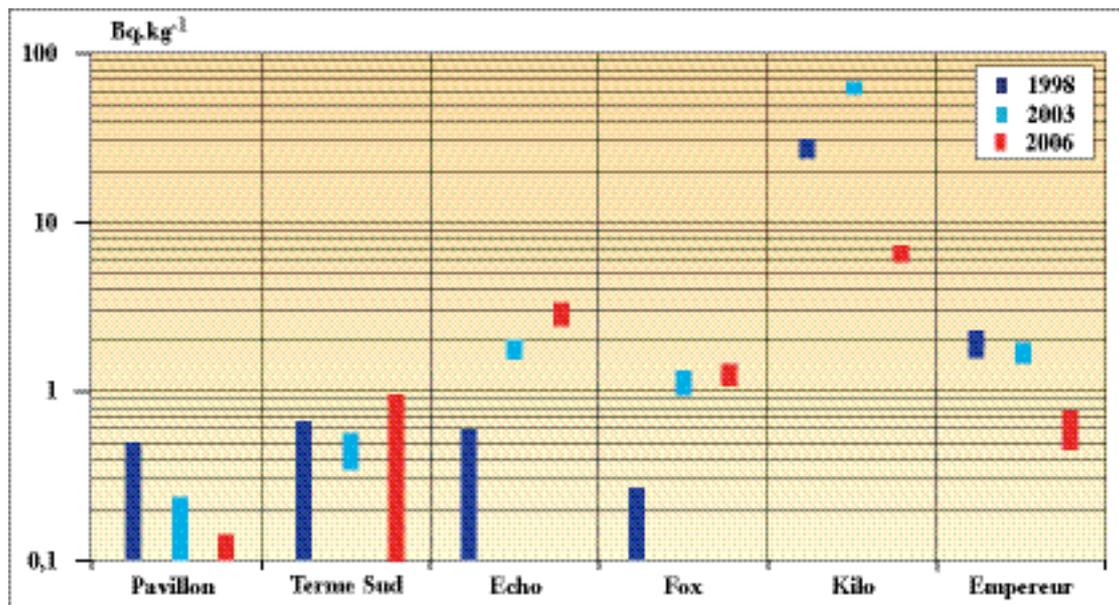


Figure A.28. : Activité <sup>241</sup>Am des sols de Fangataufa depuis 1998.

## Récapitulatif

Les figures A.29. et A.30. présentent les activités des principaux radionucléides naturels ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{235}\text{U}$ ) et artificiels ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ ) détectés dans les sols de Fangataufa en 2006.

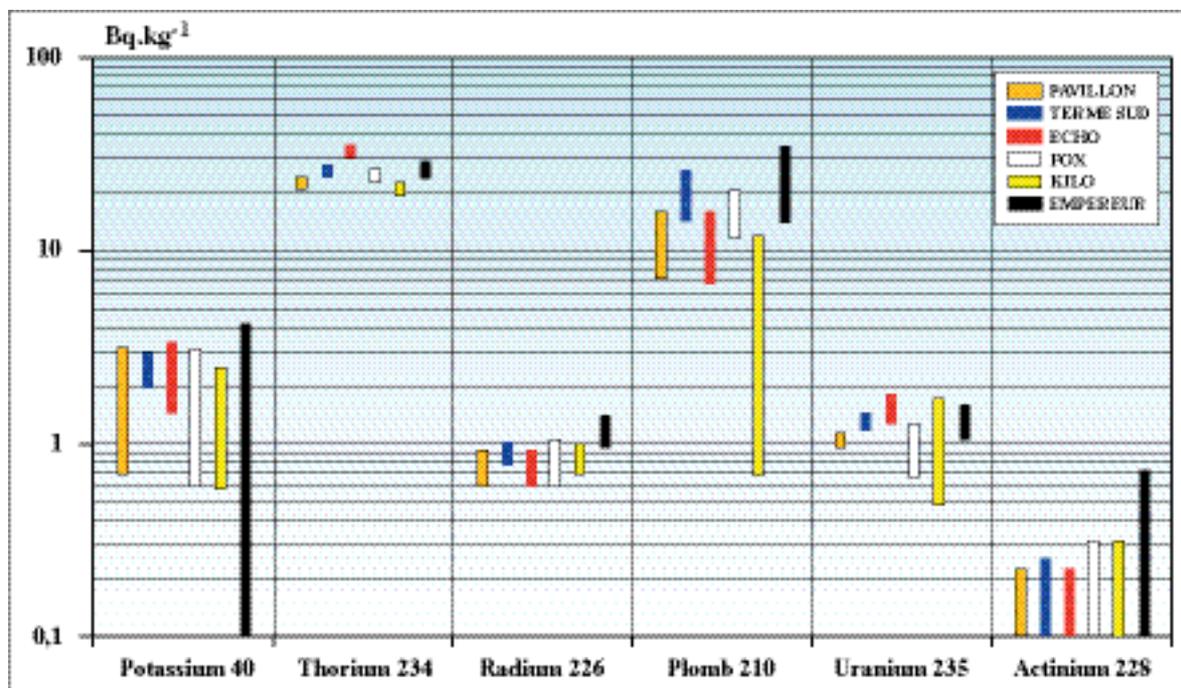


Figure A.29. : Radioactivité naturelle des sols de Fangataufa en 2006.

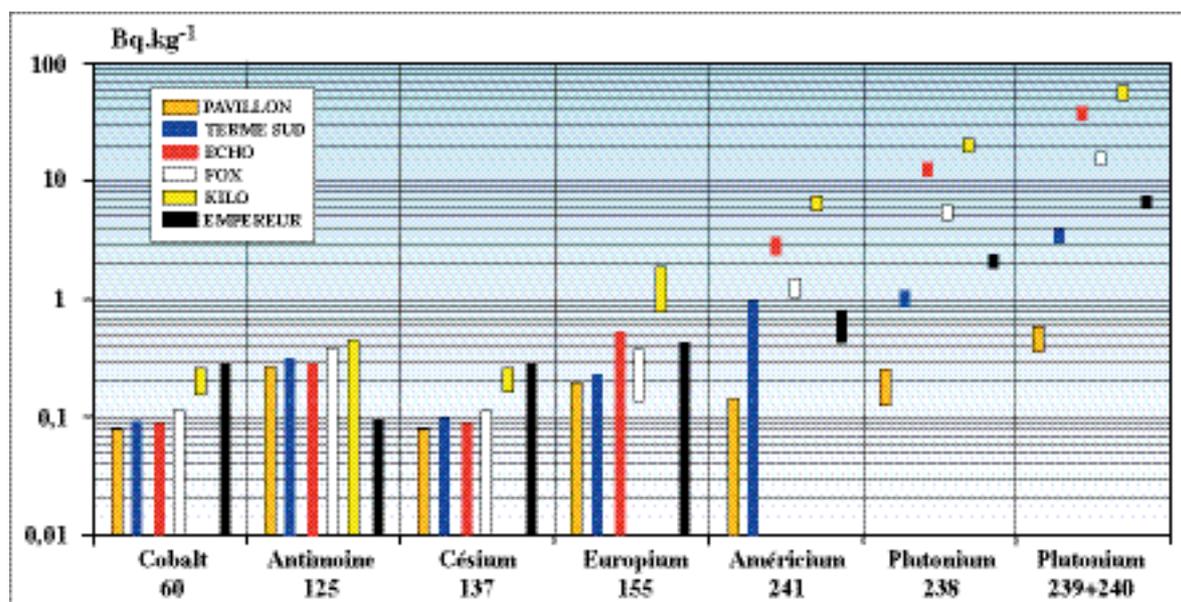


Figure A.30. : Radioactivité artificielle des sols de Fangataufa en 2006.



# Annexe B

## LA SURVEILLANCE DES EAUX OCEANIQUES



## Annexe B

# LA SURVEILLANCE DES EAUX OCEANIQUES

### B.1. - LES EAUX OCEANIQUES

#### B.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. Ce point se situe dans la limite des douze milles nautiques des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

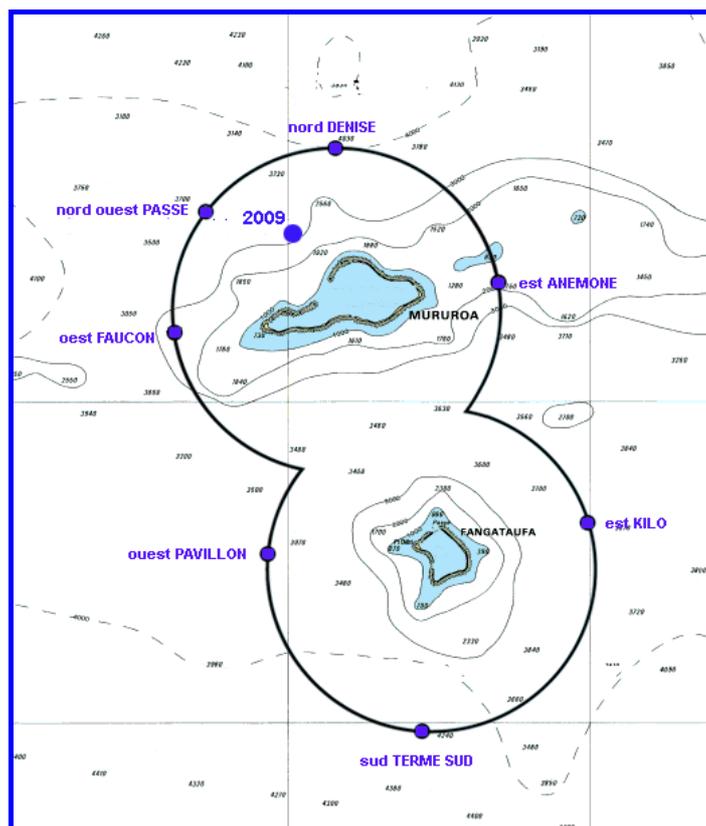
Un échantillon de 2 x 30 litres est prélevé pour la mesure du césium 137, du strontium 90 et des isotopes du plutonium ainsi qu'un échantillon de 2 x 50 millilitres pour la mesure du tritium (HTO).

La mesure du plutonium est réalisée par spectrométrie de masse (ICPMS). Cette technique est plus sensible que la spectrométrie  $\alpha$  mais elle ne permet pas de mesurer l'isotope  $^{238}\text{Pu}$  (la masse correspondante en  $^{238}\text{Pu}$  étant trop faible).

Le prélèvement en 2009 a été réalisé entre Mururoa et Fangataufa (Figure B.1.).



**Prélèvement d'eaux océaniques effectué à l'aide d'une bouteille « General Oceanic » de 60 litres.**



**Figure B.1. - Point de prélèvement des eaux océaniques en 2009.**

Les caractéristiques des prélèvements des eaux océaniques réalisées en 2009 sont données dans le tableau B.1.

**Tableau B.1. - Caractéristiques des prélèvements d'eaux océaniques en 2009.**

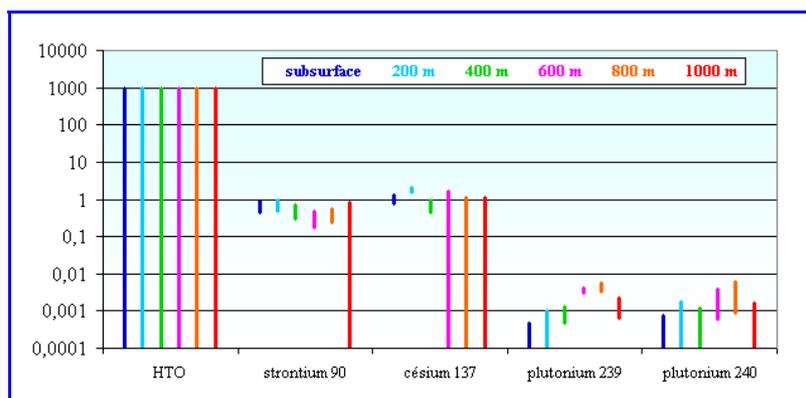
	Date de prélèvement	Coordonnées géographiques	Profondeur (m)
au nord de Mururoa	19/03/2009	21°44,23' S 138°59,46' W	subsurface
			200
			400
			600
			800
			1000

### **B.1.2. – LES RESULTATS**

Le tableau B.2. et la figure B.2. présentent les résultats des mesures de la radioactivité des eaux océaniques dans la limite des douze milles des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

**Tableau B.2. - Activité des eaux océaniques en 2009.**

	Profondeur (m)	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	Césium 137 (Bq.m <sup>-3</sup> )	Strontium 90 (Bq.m <sup>-3</sup> )	Plutonium 239 (Bq.m <sup>-3</sup> )	Plutonium 240 (Bq.m <sup>-3</sup> )
au nord de Mururoa	subsurface	≤ 1000	0,66 ± 0,23	1,03 ± 0,27	≤ ( 0,47 ).10 <sup>-3</sup>	≤ ( 0,74 ).10 <sup>-3</sup>
	200	≤ 1000	0,72 ± 0,23	1,83 ± 0,34	≤ ( 1,00 ).10 <sup>-3</sup>	≤ ( 0,18 ).10 <sup>-2</sup>
	400	≤ 1000	0,49 ± 0,20	0,73 ± 0,27	( 0,89 ± 0,42 ).10 <sup>-3</sup>	≤ ( 0,12 ).10 <sup>-2</sup>
	600	≤ 1000	0,33 ± 0,16	≤ 1,60	( 3,57 ± 0,58 ).10 <sup>-3</sup>	( 0,23 ± 0,17 ).10 <sup>-2</sup>
	800	≤ 1000	0,40 ± 0,17	≤ 1,10	( 0,46 ± 0,12 ).10 <sup>-2</sup>	( 0,35 ± 0,26 ).10 <sup>-2</sup>
	1000	≤ 1000	≤ 0,81	≤ 1,10	( 1,43 ± 0,77 ).10 <sup>-3</sup>	≤ ( 0,17 ).10 <sup>-2</sup>

**Figure B.2. - Activité des eaux océaniques en 2009.**

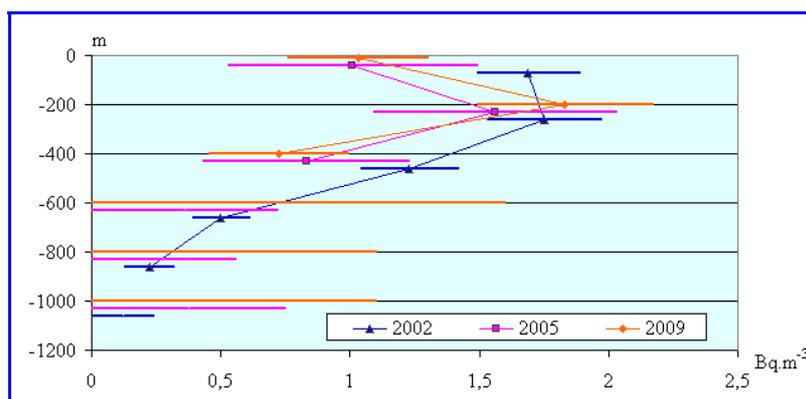
### *HTO*

Les différentes mesures sont toutes inférieures à la limite de détection des appareils de mesure.

### *Césium*

La radioactivité en césium 137 aux différentes profondeurs est du même ordre de grandeur que celle des années antérieures.

La figure B.3. donne le profil de l'activité en césium 137 des eaux océaniques.

**Figure B.3. - Profil de l'activité en <sup>137</sup>Cs des eaux océaniques depuis 2002.**

### *Strontium*

La radioactivité en strontium 90 aux différentes profondeurs est du même ordre de grandeur que celle des années antérieures.

La figure B.4. donne le profil de l'activité en strontium 90 des eaux océaniques.

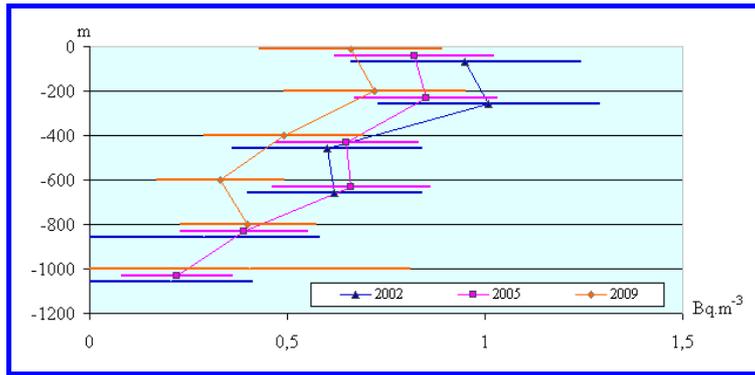


Figure B.4. - Profil de l'activité en <sup>90</sup>Sr des eaux océaniques depuis 2002.

**Rapport Césium 137 / Strontium 90**

Les rapports d'activité <sup>137</sup>Cs / <sup>90</sup>Sr est donné par le tableau B.3. et la figure B.5.

Tableau B.3. - Rapport en activité <sup>137</sup>Cs / <sup>90</sup>Sr des eaux océaniques en 2009.

	Profondeur (m)	rapport <sup>137</sup> Cs / <sup>90</sup> Sr en activité
au nord de Mururoa	subsurface	rapport non calculé
	200	2,54 ± 0,94
	400	1,48 ± 0,89
	600	rapport non calculé
	800	rapport non calculé
	1000	rapport non calculé

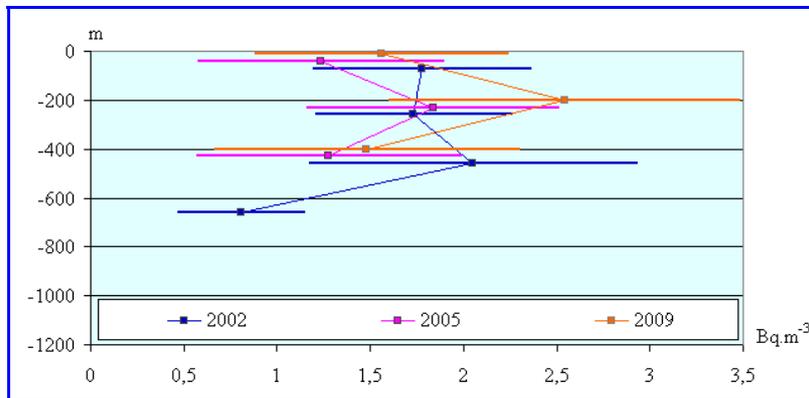


Figure B.5. : Profil du rapport en activité <sup>137</sup>Cs / <sup>90</sup>Sr des eaux océaniques depuis 2002.

**Plutonium 239 et plutonium 240**

Les figures B.6. et B.7. présentent la radioactivité en <sup>239</sup>Pu et <sup>240</sup>Pu aux différentes côtes de prélèvement.

Les valeurs 2009 sont du même ordre de grandeur que celles de 2005.

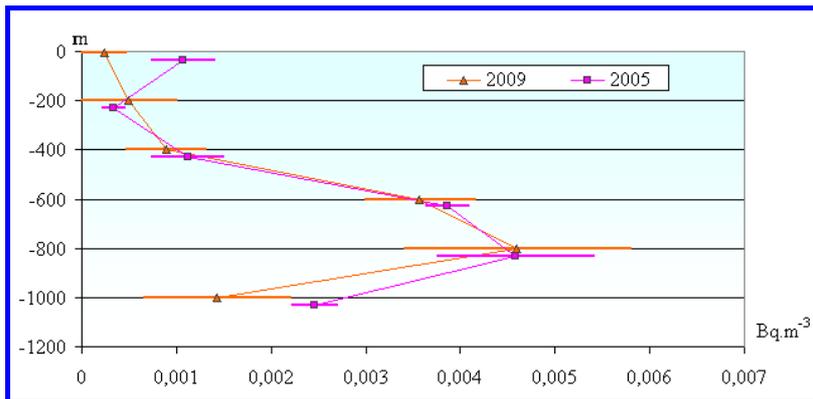


Figure B.6. - Activité  $^{239}\text{Pu}$  des eaux océaniques depuis 2005.

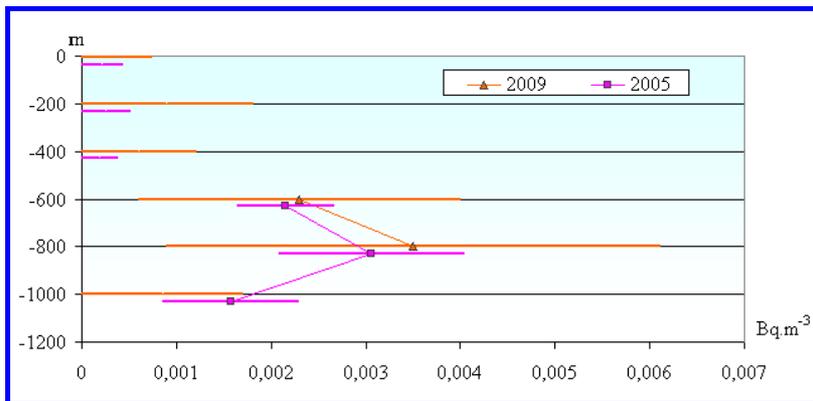


Figure B.7. - Activité  $^{240}\text{Pu}$  des eaux océaniques depuis 2005.



# Annexe C

## LA SURVEILLANCE DU PLANCTON OCEANIQUE



## **Annexe C**

### **LE PLANCTON OCEANIQUE**

#### **C.2. - 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.

##### **C.2.1. - 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.



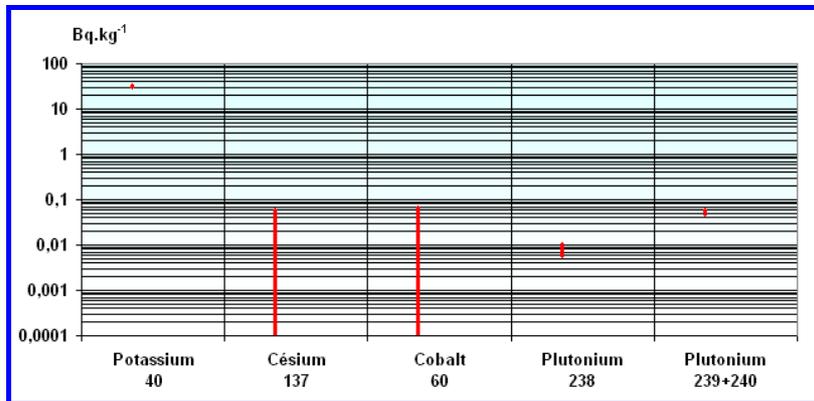
**Prélèvement de plancton océanique**

##### **C.2.2. – LES RESULTATS**

Le tableau C.1. et la figure C.1. présentent les résultats des mesures de la radioactivité du plancton océanique prélevé entre Mururoa et Fangataufa en 2009.

**Tableau C.1. - Activité (Bq.kg<sup>-1</sup> frais) du plancton océanique en 2009.**

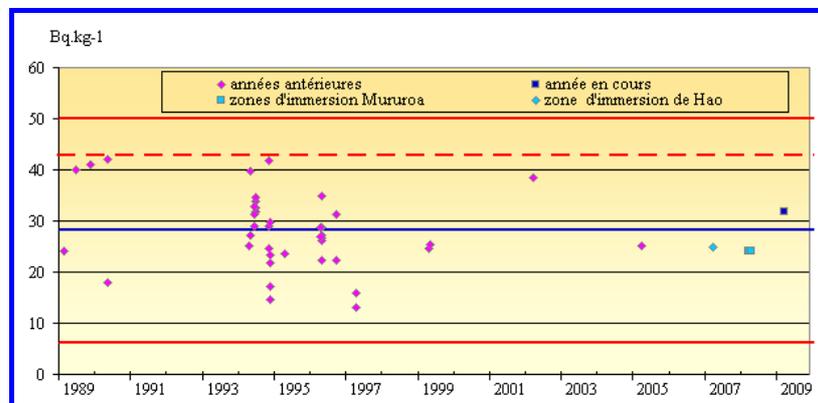
localisation	date de prélèvement	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co	<sup>238</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu
Au nord de Mururoa	20/03/2009	31,7 ± 1,9	≤ 0,06	≤ 0,07	0,008 ± 0,003	0,054 ± 0,007

**Figure C.1. - Activité du plancton océanique en 2009.**

### *Radioactivité d'origine naturelle*

#### *Potassium 40*

La valeur moyenne en potassium 40 est de  $28,2 \pm 2,3$  Bq.kg<sup>-1</sup> frais. Elle est calculée sur les 42 échantillons prélevés depuis 1994 dans la limite des 12 milles nautiques des atolls de Mururoa et de Fangataufa. L'intervalle de probabilité 99,7 % [6,3 ; 50,1] traduit la dispersion des résultats. La valeur 2009 (31,7,1 Bq.kg-1) est comprise dans cet intervalle (Figure C.2.).

**Figure C.2. - Activité du <sup>40</sup>K du plancton océanique depuis 1994.**

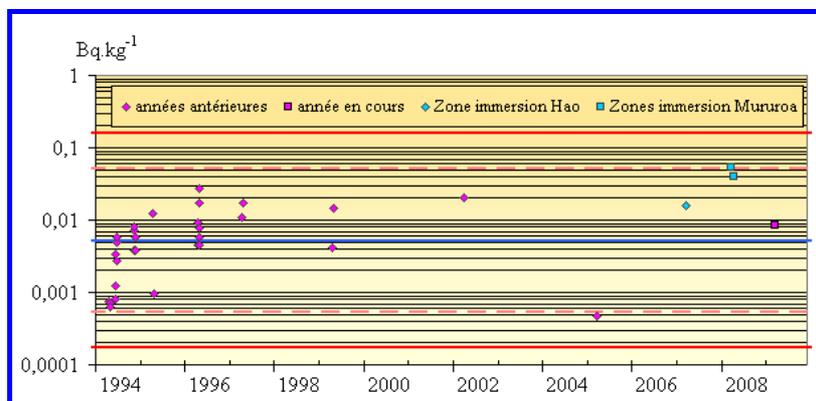
### *Radioactivité d'origine artificielle*

#### *Césium 137, cobalt 60 et strontium 90*

Comme les années précédentes, les activités en césium 137 et en cobalt 60 sont inférieures aux limites de détection. 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 2009

### ***Plutonium 238***

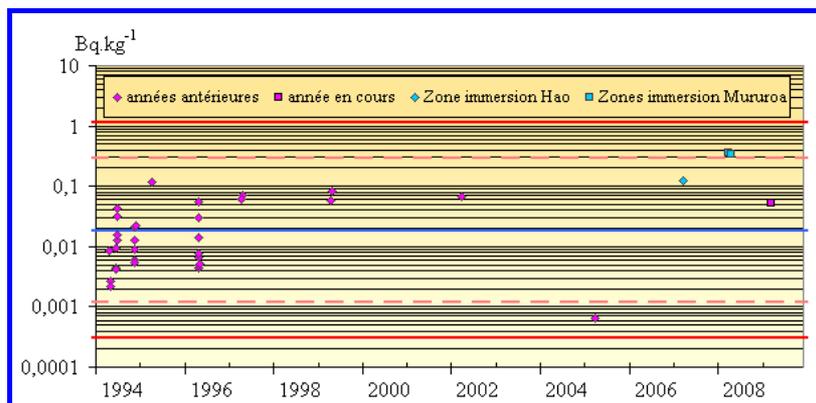
La figure C.3. présente les résultats obtenus depuis 1994. La moyenne géométrique est de  $0,005 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 95 %  $[0,0002 ; 0,16]$  traduit la dispersion des résultats. La valeur 2009 ( $0,008$ ) est comprise dans l'intervalle de probabilité 99,7 %.



**Figure C.3. - Activité du  $^{238}\text{Pu}$  du plancton océanique depuis 1994.**

### ***Plutonium 239 + Plutonium 240***

La moyenne géométrique est de  $0,015 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . L'intervalle de probabilité 95 %  $[0,001 ; 0,14]$  traduit la dispersion des résultats. La valeur 2009 ( $0,0054$ ) est comprise dans l'intervalle de probabilité 99,7 % (Figure C.4.).

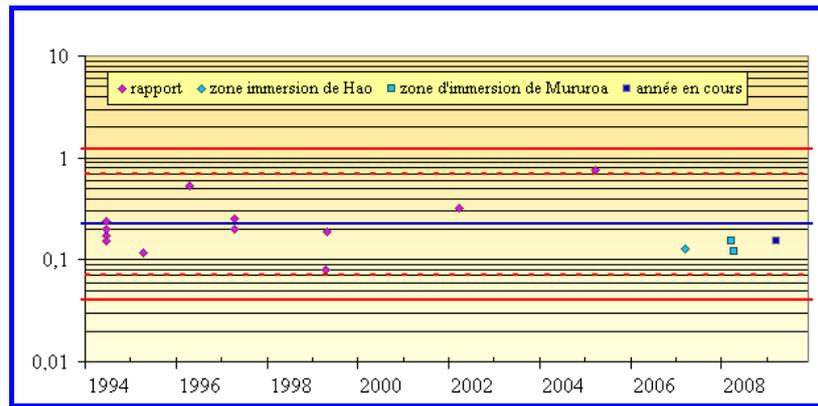


**Figure C.4. - Activité du plutonium 239 + plutonium 240 du plancton océanique depuis 1994.**

### ***Rapport Plutonium 238 / Plutonium 239 + Plutonium 240***

Sur les 17 rapports calculés depuis 1986, la moyenne géométrique est de  $0,22$ . L'intervalle de probabilité 99,7 %  $[0,04 ; 1,2]$  traduit la dispersion des résultats.

La valeur de  $0,155 \pm 0,05$  est comprise dans cet intervalle (Figure C.5.).



**Figure C.5. - Rapport en activité ( $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ ) du plancton océanique depuis 1994.**

# Annexe D

## TABLEAUX RECAPITULATIFS DES RESULTATS



**Tableau 1 : Prélèvements biologiques en 2010.**

	Localisation	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Coprah	Fangataufa	13/05/2010	154 ± 10	0,38 ± 0,03	≤ 0,071	≤ 0,035	≤ 0,00027	≤ 0,00069
	Mururoa zone est	19/04/2010	123 ± 8,2	0,34 ± 0,03	≤ 0,034	≤ 0,027	0,00036 ± 0,00023	0,006 ± 0,001
	Mururoa zone nord	28/04/2010	104 ± 6,9	3,01 ± 0,2	≤ 0,031	≤ 0,032	≤ 0,0003	≤ 0,00062
	Mururoa zone ouest	30/04/2010	159 ± 11	0,072 ± 0,011	≤ 0,048	≤ 0,046	≤ 0,00036	≤ 0,00089
	Mururoa zone sud	29/04/2010	139 ± 9,3	≤ 0,028	≤ 0,031	≤ 0,04	≤ 0,00037	≤ 0,00054
Eau de coco	Fangataufa	13/05/2010	51,7 ± 3,8	0,068 ± 0,006	≤ 0,02	≤ 0,011	≤ 0,00016	≤ 0,00019
	Mururoa zone Est	19/04/2010	51,1 ± 3,7	≤ 0,0073	≤ 0,012	≤ 0,011	≤ 0,00013	≤ 0,00019
	Mururoa zone Nord	28/04/2010	38 ± 2,8	0,45 ± 0,04	≤ 0,0091	≤ 0,0095	≤ 0,0001	≤ 0,00013
	Mururoa zone Ouest	30/04/2010	67,4 ± 5	≤ 0,012	≤ 0,025	≤ 0,018	≤ 0,00016	≤ 0,00036
	Mururoa zone Sud	29/04/2010	53,7 ± 3,9	≤ 0,011	≤ 0,013	≤ 0,015	≤ 0,00016	≤ 0,00019
Plancton du lagon	Mururoa	05/05/2010	43,1 ± 3,1	≤ 0,1	-	0,1 ± 0,03	0,63 ± 0,037	2,45 ± 0,12
	Fangataufa	17/05/2010	41,6 ± 3,5	0,068 ± 0,018	-	0,46 ± 0,05	9,61 ± 0,88	28,1 ± 2,6
Troca	Fangataufa	12/05/2010	82,3 ± 6,5	≤ 0,041	-	0,27 ± 0,04	0,29 ± 0,02	0,82 ± 0,04
	Mururoa, zone nord	26/04/2010	86,7 ± 6,9	≤ 0,039	-	0,045 ± 0,014	0,076 ± 0,01	0,65 ± 0,08
	Mururoa, zone ouest	29/04/2010	86,2 ± 7,1	0,016 ± 0,007	-	≤ 0,051	0,021 ± 0,004	0,15 ± 0,02

- non mesuré

Tableau 1 bis : Prélèvements biologiques en 2010 (suite).

	Lieux	Date	<sup>40</sup> K (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>60</sup> Co (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.kg <sup>-1</sup> )
Chirurgien	Fangataufa	14/05/2010	90,3 ± 6,8	0,075 ± 0,01	-	0,16 ± 0,02	0,048 ± 0,005	0,13 ± 0,01
	Mururoa zone ouest	29/04/2010	90,1 ± 6,1	0,057 ± 0,009	-	≤ 0,044	0,0033 ± 0,0016	0,033 ± 0,005
	Mururoa zone nord	26/04/2010	97,4 ± 6,5	0,13 ± 0,02	-	≤ 0,043	0,026 ± 0,004	0,34 ± 0,02
Mérrou	Fangataufa	12/05/2010	151 ± 11	0,35 ± 0,04	≤ 0,042	≤ 0,034	0,0015 ± 0,0008	0,0033 ± 0,0011
	Mururoa zone ouest	30/04/2010	155 ± 12	0,37 ± 0,03	≤ 0,051	≤ 0,034	≤ 0,00045	≤ 0,00092
	Mururoa zone nord	20/04/2010	150 ± 11	0,52 ± 0,06	≤ 0,043	≤ 0,042	≤ 0,00038	≤ 0,00088
Turbo	Fangataufa	15/05/2010	92,1 ± 7	0,016 ± 0,008	≤ 0,07	≤ 0,047	0,044 ± 0,003	0,13 ± 0,01
	Mururoa zone Ouest	04/05/2010	94,1 ± 7,7	≤ 0,042	≤ 0,11	≤ 0,06	0,019 ± 0,003	0,13 ± 0,01
	Mururoa zone Sud	04/05/2010	98,4 ± 7,4	≤ 0,032	≤ 0,07	≤ 0,043	0,002 ± 0,0007	0,02 ± 0,002
Plancton des flancs d'atoll	Fangataufa	21/04/2010	27,3 ± 2,3	≤ 0,046	-	≤ 0,052	0,016 ± 0,003	0,051 ± 0,006
	Mururoa secteur 2	23/04/2010	25,2 ± 2,7	≤ 0,07	-	≤ 0,07	0,014 ± 0,003	0,12 ± 0,01
Crevettes des profondeurs	Mururoa secteur 2	24/04/2010	67,2 ± 4,6	0,043 ± 0,013	≤ 0,28	≤ 0,046	≤ 0,0016	0,01 ± 0,004
Thon à dents de chien	Mururoa secteur 1	25/04/2010	177 ± 14	0,37 ± 0,06	≤ 0,052	≤ 0,049	≤ 0,00037	≤ 0,0013
	Fangataufa	16/05/2010	155 ± 12	0,29 ± 0,05	≤ 0,046	≤ 0,041	≤ 0,00047	≤ 0,00096
Bonites à ventre rayé	Mururoa secteur 1	25/04/2010	132 ± 10	0,19 ± 0,04	≤ 0,064	≤ 0,039	≤ 0,00078	≤ 0,0018

- non mesuré

**Tableau 2 : Prélèvements atmosphériques en 2010.**

Mois	$^7\text{Be}$ (Bq.m <sup>-3</sup> )	$^{22}\text{Na}$ (Bq.m <sup>-3</sup> )	$^{40}\text{K}$ (Bq.m <sup>-3</sup> )	$^{210}\text{Pb}$ (Bq.m <sup>-3</sup> )
janvier	$(1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	$\leq 3,8 \cdot 10^{-7}$	$(9 \pm 4,1) \cdot 10^{-6}$	$(3,2 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$
février	$(2,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	$\leq 4,3 \cdot 10^{-7}$	$(9,5 \pm 4,8) \cdot 10^{-6}$	$(3,5 \pm 0,7) \cdot 10^{-5}$
mars	$(2,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	$\leq 3,9 \cdot 10^{-7}$	$(8,5 \pm 1,8) \cdot 10^{-6}$	$(2,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$
avril	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	$\leq 4 \cdot 10^{-7}$	$(7,9 \pm 3,4) \cdot 10^{-6}$	$(2,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-5}$
mai	$(2,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	$\leq 3,4 \cdot 10^{-7}$	$(9,4 \pm 1,9) \cdot 10^{-6}$	$(2,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$
juin	$(1,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	$\leq 3,9 \cdot 10^{-7}$	$(8,5 \pm 1,8) \cdot 10^{-6}$	$(2,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-5}$
juillet	$(2,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	$\leq 4 \cdot 10^{-7}$	$(1,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$	$(3 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$
août	$(2,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	$\leq 4 \cdot 10^{-7}$	$(7,4 \pm 1,7) \cdot 10^{-6}$	$(3,9 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$
septembre	$(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	$\leq 3,9 \cdot 10^{-7}$	$(8,5 \pm 4,7) \cdot 10^{-6}$	$(5,6 \pm 0,9) \cdot 10^{-5}$
octobre	$(2,7 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	$\leq 3 \cdot 10^{-7}$	$(8,7 \pm 7,8) \cdot 10^{-6}$	$(4,2 \pm 0,8) \cdot 10^{-5}$
novembre	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$(4,4 \pm 2,5) \cdot 10^{-7}$	$(1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-5}$	$(5,6 \pm 1,1) \cdot 10^{-5}$
décembre	$(1,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	$\leq 3,5 \cdot 10^{-7}$	$(7,8 \pm 1,8) \cdot 10^{-6}$	$(2,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-5}$

Tableau 2 bis : Prélèvements atmosphériques en 2010 (suite).

Mois	$^{137}\text{Cs}$	$^{238}\text{Pu}$	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$
janvier	$\leq 2,9 \cdot 10^{-7}$	$\leq 9,6 \cdot 10^{-9}$	$\leq 1,1 \cdot 10^{-8}$
février	$\leq 3,4 \cdot 10^{-7}$	$\leq 3,4 \cdot 10^{-9}$	$(6,7 \pm 4,2) \cdot 10^{-9}$
mars	$\leq 3,1 \cdot 10^{-7}$	$\leq 2,7 \cdot 10^{-9}$	$(9,2 \pm 2,9) \cdot 10^{-9}$
avril	$\leq 3,1 \cdot 10^{-7}$	$\leq 2,5 \cdot 10^{-9}$	$\leq 4,5 \cdot 10^{-9}$
mai	$\leq 2,9 \cdot 10^{-7}$	$\leq 2,7 \cdot 10^{-9}$	$(6,2 \pm 2,8) \cdot 10^{-9}$
juin	$\leq 3,2 \cdot 10^{-7}$	$\leq 2 \cdot 10^{-9}$	$(5,7 \pm 2,7) \cdot 10^{-9}$
juillet	$\leq 3,2 \cdot 10^{-7}$	$\leq 5,7 \cdot 10^{-9}$	$\leq 5,2 \cdot 10^{-9}$
août	$\leq 3,2 \cdot 10^{-7}$	$\leq 5,7 \cdot 10^{-9}$	$(6,6 \pm 4,1) \cdot 10^{-9}$
septembre	$\leq 3,4 \cdot 10^{-7}$	$\leq 3,5 \cdot 10^{-9}$	$(6 \pm 4) \cdot 10^{-9}$
octobre	$\leq 3,4 \cdot 10^{-7}$	$\leq 5 \cdot 10^{-9}$	$(9,7 \pm 6,3) \cdot 10^{-9}$
novembre	$\leq 5,6 \cdot 10^{-7}$	$\leq 4 \cdot 10^{-9}$	$(1,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-8}$
décembre	$\leq 3,2 \cdot 10^{-7}$	$\leq 5,4 \cdot 10^{-9}$	$\leq 9,2 \cdot 10^{-9}$

**Tableau 3 : Prélèvements d'eaux en 2010.**

Nature	Localisation		Date	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )
Eau du robinet	Mururoa	Martine	03/05/2010	≤ 1000	≤ 0,9	≤ 0,83	≤ 0,0055	≤ 0,0055
Eaux du lagon	Mururoa	Aprion 06	08/05/2010	≤ 1000	0,6 ± 0,2	1,2 ± 0,3	0,01 ± 0,004	0,02 ± 0,01
		Gorgone 05	08/05/2010	≤ 1000	0,5 ± 0,1	1,3 ± 0,3	0,033 ± 0,006	0,15 ± 0,01
		Janie 32	09/05/2010	≤ 1000	0,8 ± 0,1	1,1 ± 0,2	0,047 ± 0,007	0,3 ± 0,02
		Labre 32	09/05/2010	≤ 2000	0,7 ± 0,1	1,2 ± 0,8	0,026 ± 0,005	0,11 ± 0,01
		Orque 41	26/04/2010	≤ 2000	0,6 ± 0,2	1,4 ± 0,3	0,035 ± 0,007	0,22 ± 0,02
		Pieuvre 27	05/05/2010	≤ 1000	0,6 ± 0,1	1,2 ± 0,9	0,03 ± 0,006	0,16 ± 0,02
		Scalaire 15	07/05/2010	≤ 1000	0,7 ± 0,2	1 ± 0,9	0,027 ± 0,006	0,16 ± 0,01
		Umbre 24	04/05/2010	≤ 1000	0,7 ± 0,2	1,6 ± 0,9	0,025 ± 0,006	0,15 ± 0,02
		Zanclus 25	01/05/2010	≤ 1000	≤ 1	1,6 ± 0,9	0,086 ± 0,011	0,35 ± 0,02
	Fangataufa	Cérithé 27	12/05/2010	≤ 1000	0,4 ± 0,1	1 ± 0,3	0,03 ± 0,01	0,1 ± 0,01
		Limnée 35	12/05/2010	≤ 1000	0,4 ± 0,1	1 ± 0,3	0,1 ± 0,01	0,26 ± 0,02
		Mitre 09	16/05/2010	≤ 1000	0,7 ± 0,1	1,2 ± 0,6	0,11 ± 0,01	0,32 ± 0,02
		Mitre 26	16/05/2010	≤ 1000	0,7 ± 0,1	1,2 ± 0,2	0,13 ± 0,01	0,34 ± 0,02
		Troque 13	16/05/2010	≤ 1000	0,8 ± 0,1	1,6 ± 0,9	0,12 ± 0,01	0,33 ± 0,02

- non mesuré

Tableau 3 bis : Prélèvements d'eaux en 2010 (suite).

Nature	Localisation		Date	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )
Eaux des flancs d'atoll de Mururoa (face à Iris)	Radiale 1	200	22/04/2010	≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	-
		600		≤ 1000	-	-	-	-
	Radiale 2	200		≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	-
		600		≤ 1000	-	-	-	-
	Radiale 3	200		≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	-
		600		≤ 1000	-	-	-	-
	Radiale 4	200		≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	-
		600		≤ 1000	-	-	-	-
	Radiale 5	200		≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	-
		600		≤ 1000	-	-	-	-
	Radiale 6	200		≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	-
		600		≤ 1000	-	-	-	-
Eaux des flancs d'atoll de Fangataufa (Hôtel)	Radiale 1	200	21/04/2010	≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	
		600		≤ 1000	-	-	-	
	Radiale 2	200		≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	-
		600		≤ 1000	-	-	-	-
	Radiale 3	200		≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	-
		600		≤ 1000	-	-	-	-
	Radiale 4	200		≤ 1000	-	-	-	-
		400		≤ 1000	-	-	-	-
		600		≤ 1000	-	-	-	-

- non mesuré

**Tableau 4 : Prélèvements d'eaux souterraines en 2010.**

Observatoire	Date de prélèvement	Profondeur (m)	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )
Géo 5 B	22/04/2010	100-102 m	(4,3 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	5,06 ± 0,87	4 ± 0,93	-	-
		149-151 m	(4,5 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	4,81 ± 0,86	≤ 2,9	-	-
		185-187 m	(4,6 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	6,1 ± 1	3,86 ± 0,96	-	-
		215-217m	(4,3 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	6,04 ± 0,97	3,29 ± 0,8	-	-
		228-230 m	(4,3 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	6 ± 1	3,01 ± 0,84	-	-
		264-266 m	(4,4 ± 0,4) .10 <sup>3</sup>	5,39 ± 0,9	4 ± 1	-	-
Géo 8 B	24/04/2010	107-110 m	(2,37 ± 0,12) .10 <sup>5</sup>	(3,78 ± 0,48) .10 <sup>2</sup>	(2,46 ± 0,37) .10 <sup>2</sup>	-	-
		158-168 m	(2,99 ± 0,16) .10 <sup>5</sup>	(5 ± 0,64) .10 <sup>2</sup>	(3,43 ± 0,62) .10 <sup>2</sup>	-	-
		209-212 m	(3,74 ± 0,19) .10 <sup>5</sup>	(6,49 ± 0,82) .10 <sup>2</sup>	(3,8 ± 0,47) .10 <sup>2</sup>	-	-
		274-278 m	(7,43 ± 0,38) .10 <sup>5</sup>	(1,03 ± 0,13) .10 <sup>3</sup>	(5,27 ± 0,79) .10 <sup>2</sup>	-	-
Géo 10 B	24/04/2010	140-144 m	(2,8 ± 0,14) .10 <sup>6</sup>	(8 ± 1) .10 <sup>3</sup>	(3,7 ± 0,45) .10 <sup>3</sup>	-	-
		164-169 m	(3,1 ± 0,16) .10 <sup>6</sup>	(8,3 ± 1) .10 <sup>3</sup>	(4,83 ± 0,45) .10 <sup>3</sup>	-	-
		228-233 m	(3,43 ± 0,18) .10 <sup>6</sup>	(1 ± 0,12) .10 <sup>4</sup>	(4,82 ± 0,43) .10 <sup>3</sup>	-	-
		282-284 m	(3,19 ± 0,16) .10 <sup>6</sup>	(1,08 ± 0,13) .10 <sup>4</sup>	(5,49 ± 0,44) .10 <sup>3</sup>	-	-
		307-311 m	(4,57 ± 0,23) .10 <sup>6</sup>	(1,66 ± 0,21) .10 <sup>4</sup>	(7,37 ± 0,52) .10 <sup>3</sup>	-	-
Pieuvre 37	26/04/2010	95 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>	≤ 1,1	≤ 1,3	-	-
		107 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>	≤ 1	≤ 2,2	-	-
		260 m	(1,93 ± 0,1) .10 <sup>6</sup>	(3,84 ± 0,48) .10 <sup>3</sup>	(3,71 ± 0,41) .10 <sup>3</sup>	-	-
		285 m	(2,88 ± 0,15) .10 <sup>6</sup>	(6,2 ± 0,77) .10 <sup>3</sup>	(4,94 ± 0,29) .10 <sup>3</sup>	-	-
		300 m	(3,1 ± 0,16) .10 <sup>6</sup>	(7,3 ± 0,91) .10 <sup>3</sup>	(5,63 ± 0,44) .10 <sup>3</sup>	≤ 0,23	≤ 0,35
Murène 27	09/05/2010	100 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>	≤ 1	≤ 2,7	-	-
Whale 30	20/04/2010	207 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>	≤ 2	≤ 2,8	-	-
		280 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>		≤ 2,5	-	-
		290 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>		≤ 2	-	-
		330 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>		≤ 1,9	-	-

- non mesuré

**Tableau 4 bis : Prélèvements d'eaux souterraines en 2010 (suite).**

Observatoire	Date de prélèvement	Profondeur (m)	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )
Tazard 14	28/04/2010	193 m	( 1,92 ± 0,1 ) .10 <sup>5</sup>	5,73 ± 0,89	5,05 ± 0,82	-	-
		245 m	( 2,03 ± 0,1 ) .10 <sup>6</sup>	( 3,39 ± 0,43 ) .10 <sup>1</sup>	( 1,45 ± 0,4 ) .10 <sup>1</sup>	-	-
		290 m	( 2,04 ± 0,11 ) .10 <sup>6</sup>	( 4,47 ± 0,57 ) .10 <sup>1</sup>	( 1,61 ± 0,21 ) .10 <sup>1</sup>	≤ 0,014	0,045 ± 0,016
Scalaire 22	04/05/2010	100 m	( 1,47 ± 0,1 ) .10 <sup>4</sup>	( 2,66 ± 0,45 ) .10 <sup>1</sup>	( 3,07 ± 0,51 ) .10 <sup>1</sup>	-	-
		135 m	( 2,2 ± 0,1 ) .10 <sup>4</sup>	( 3,05 ± 0,41 ) .10 <sup>1</sup>	( 2,87 ± 0,57 ) .10 <sup>1</sup>	-	-
		192 m	( 2,48 ± 1,3 ) .10 <sup>4</sup>	( 4,97 ± 0,65 ) .10 <sup>1</sup>	( 3,14 ± 0,53 ) .10 <sup>1</sup>	-	-
		245 m	( 1,65 ± 1,4 ) .10 <sup>4</sup>	( 6,69 ± 0,87 ) .10 <sup>1</sup>	( 2,11 ± 0,27 ) .10 <sup>1</sup>	-	-
Pieuvre 23	05/05/2010	100 m	( 4,49 ± 0,2 ) .10 <sup>4</sup>	0,69 ± 0,27	2 ± 0,83	-	-
		145 m	( 4,33 ± 0,2 ) .10 <sup>4</sup>	1,74 ± 0,49	≤ 2,7	-	-
		175 m	( 4,38 ± 0,24 ) .10 <sup>4</sup>	2,08 ± 0,59	≤ 2,9	-	-
Orque 13	02/04/2010	99 m	( 1,37 ± 0,07 ) .10 <sup>5</sup>	2,55 ± 0,61	2,15 ± 0,74	-	-
		143 m	( 1,63 ± 0,08 ) .10 <sup>5</sup>	3,27 ± 0,64	≤ 3,2	-	-
		178 m	( 1,73 ± 0,09 ) .10 <sup>5</sup>	2,33 ± 0,65	≤ 3,1	-	-
Labre 13	28/03/2010	145 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>	≤ 1,7	≤ 3,9	-	-
		190 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>			-	-
		225 m	( 1,7 ± 0,4 ) .10 <sup>3</sup>			-	-
Murène16	07/05/2010	100 m	( 3,86 ± 0,2 ) .10 <sup>5</sup>	7,4 ± 1,3	≤ 2,7	≤ 0,012	≤ 0,025
		185 m	( 1,23 ± 0,06 ) .10 <sup>6</sup>	( 2,93 ± 0,4 ) .10 <sup>1</sup>	1,45 ± 0,7	-	-
		230 m	( 2,63 ± 0,13 ) .10 <sup>6</sup>	( 6,04 ± 0,77 ) .10 <sup>1</sup>	≤ 2,8	-	-
		285 m	( 2,61 ± 0,13 ) .10 <sup>6</sup>	( 6,24 ± 0,81 ) .10 <sup>1</sup>	≤ 2,5	-	-
Krill 23	27/04/2010	181 m	( 4,74 ± 0,24 ) .10 <sup>6</sup>	( 4,74 ± 0,59 ) .10 <sup>2</sup>	≤ 2,8	-	-
		193 m	( 4,43 ± 0,23 ) .10 <sup>6</sup>	( 4,13 ± 0,52 ) .10 <sup>2</sup>	1,25 ± 0,67	-	-
		220 m	( 2,37 ± 0,12 ) .10 <sup>6</sup>	( 1,75 ± 0,22 ) .10 <sup>2</sup>	≤ 2,8	≤ 0,019	≤ 0,02
		310 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	0,8 ± 0,47	1,52 ± 0,58	-	-
		330 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	0,5 ± 0,22	≤ 2,4	-	-
		345 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>	0,78 ± 0,24	≤ 2,8	-	-

- non mesuré

**Tableau 4 ter : Prélèvements d'eaux souterraines en 2010 (suite).**

Observatoire	Date de prélèvement	Profondeur (m)	HTO (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>90</sup> Sr (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>137</sup> Cs (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>238</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu (Bq.m <sup>-3</sup> )
Isurus 10	30/04/2010	260 m	( 1,65 ± 0,09 ) .10 <sup>5</sup>	( 1,63 ± 0,21 ) .10 <sup>1</sup>	2,5 ± 1,7	-	-
		265 m	( 1,64 ± 0,09 ) .10 <sup>5</sup>	( 1,51 ± 0,2 ) .10 <sup>1</sup>	2,18 ± 0,88	-	-
		275 m	( 1,64 ± 0,09 ) .10 <sup>5</sup>	( 1,71 ± 0,23 ) .10 <sup>1</sup>	1,36 ± 0,68	-	-
		315 m	( 1,1 ± 0,4 ) .10 <sup>3</sup>	≤ 1,7	0,98 ± 0,46	-	-
		330 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	1,28 ± 0,43	≤ 2,9	-	-
		345 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	≤ 2,2	≤ 3,4	-	-
Flet 08	08/05/2010	100 m	≤ 1,5 . 10 <sup>3</sup>	≤ 3,1	( 2,02 ± 0,29 ) .10 <sup>1</sup>	-	-
		135 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>		9,9 ± 2,9	-	-
		193 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>		2,95 ± 0,82	-	-
		280 m	( 1 ± 0,3 ) .10 <sup>3</sup>		2,28 ± 0,59	-	-
Dragon 09	08/05/2010	162 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>	≤ 1,5	≤ 2,3	-	-
		205 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>			-	-
		258 m	≤ 1 . 10 <sup>3</sup>			-	-
Natrice 19	16/05/2010	200 m	( 1,64 ± 0,19 ) .10 <sup>5</sup>	( 2,62 ± 8,59 ) .10 <sup>1</sup>	≤ 2,9	-	-
		235 m	( 1,64 ± 0,27 ) .10 <sup>5</sup>	( 5,43 ± 0,69 ) .10 <sup>1</sup>	≤ 2,7	-	-
		320 m	( 1,4 ± 0,4 ) .10 <sup>3</sup>	1 ± 0,37	≤ 2,1	-	-
		340 m	( 1,7 ± 0,5 ) .10 <sup>3</sup>	1,46 ± 0,42	≤ 2,6	-	-
Fuseau 30	12/05/2010	193 m	( 1,18 ± 0,06 ) .10 <sup>6</sup>	( 2,58 ± 0,32 ) .10 <sup>2</sup>	( 7,26 ± 0,91 ) .10 <sup>1</sup>	non prélevé	non prélevé
		215 m	( 1,1 ± 0,06 ) .10 <sup>6</sup>	( 2,31 ± 0,29 ) .10 <sup>2</sup>	( 7,73 ± 0,92 ) .10 <sup>1</sup>	-	-
		255 m	( 4,03 ± 0,21 ) .10 <sup>5</sup>	( 7,82 ± 0,99 ) .10 <sup>1</sup>	( 2,46 ± 0,57 ) .10 <sup>1</sup>	-	-
		268 m	( 4,01 ± 0,21 ) .10 <sup>5</sup>	( 7,65 ± 0,97 ) .10 <sup>1</sup>	( 2,2 ± 0,29 ) .10 <sup>1</sup>	-	-
Mitre 27	12/05/2010	233-235 m	( 2 ± 0,4 ) .10 <sup>3</sup>	1,33 ± 0,41	1,39 ± 0,73	-	-
		237-239 m	( 1,7 ± 0,5 ) .10 <sup>3</sup>	0,56 ± 0,4	≤ 3,1	-	-
Porcelaine 23	14/05/2010	203 m	( 2,7 ± 0,4 ) .10 <sup>3</sup>	1,98 ± 0,95	≤ 1,9	-	-
		257 m	( 1,24 ± 0,08 ) .10 <sup>4</sup>	0,76 ± 0,49	≤ 2,2	-	-
		270 m	( 1,7 ± 0,1 ) .10 <sup>4</sup>	1,03 ± 0,43	≤ 3	-	-

- non mesuré

**Tableau 5 : Prélèvements de sable et de sédiments en 2010 (suite).**

Prélèvements	Lieu	Date	<sup>40</sup> K	<sup>234</sup> Th	<sup>226</sup> Ra ( <sup>214</sup> Pb)	<sup>210</sup> Pb	<sup>235</sup> U	<sup>232</sup> Th ( <sup>228</sup> Ac)
Sable de plage	Anémone 1	04/04/2009	6,6 ± 1,2	26,3 ± 2,9	1,28 ± 0,21	10,9 ± 3,5	1,15 ± 0,49	≤ 0,28
	Anémone 1	03/05/2010	5,9 ± 1,5	31,7 ± 2,3	1,39 ± 0,3	8,1 ± 3,8	1,14 ± 0,32	≤ 0,31
Sédiment Mururoa	Aprion 06	08/05/2010	9,9 ± 2	26,9 ± 2,1	1,6 ± 0,2	20,7 ± 4,6	1 ± 0,2	≤ 0,4
	Gorgone 05	08/05/2010	9,5 ± 2,8	29,8 ± 2,2	8,5 ± 0,7	20,9 ± 6,5	1,2 ± 0,2	≤ 0,4
	Janie 32	09/05/2010	6,8 ± 0,8	33,3 ± 2,2	4,6 ± 0,4	66,3 ± 8,7	1,3 ± 0,2	≤ 0,3
	Labre 32	09/05/2010	7,6 ± 0,8	30,4 ± 2,1	2,5 ± 0,2	9,3 ± 3,2	1,5 ± 0,4	≤ 0,3
	Orque 41	26/04/2010	9,4 ± 1,7	31,9 ± 2,6	34 ± 2,1	33,8 ± 6,9	1,4 ± 0,2	≤ 0,5
	Pieuvre 27	05/05/2010	9 ± 0,9	22,8 ± 1,6	7,9 ± 0,6	20,9 ± 5,6	0,9 ± 0,2	≤ 0,4
	Scalaire 15	07/05/2010	8,4 ± 1,8	29,1 ± 2,1	8,5 ± 0,6	17,6 ± 4,6	1,2 ± 0,2	≤ 0,4
	Umbre 24	04/05/2010	9,5 ± 0,9	24,7 ± 1,8	4,3 ± 0,3	21,4 ± 5,2	1,1 ± 0,3	≤ 0,3
	Zanclus 25	01/05/2010	7,7 ± 0,8	27,7 ± 2,1	1,6 ± 0,2	19,4 ± 4,9	1,1 ± 0,2	≤ 0,3
Sédiment Fangataufa	Cérithie 27	12/05/2010	7,7 ± 0,8	31,9 ± 2,6	1,5 ± 0,2	7,7 ± 2,2	1,3 ± 0,2	≤ 0,27
	Limnée 35	12/05/2010	7,9 ± 0,8	33,2 ± 2,4	1,2 ± 0,2	14,4 ± 2,8	1,1 ± 0,2	≤ 0,27
	Mitre 09	16/05/2010	5,5 ± 1,4	39,2 ± 2,8	1,4 ± 0,3	5,8 ± 1,1	1,5 ± 0,2	≤ 0,29
	Mitre 26	16/05/2010	8,1 ± 0,9	34,2 ± 2,3	18,9 ± 1,2	36,2 ± 6,1	1,6 ± 0,2	≤ 0,46
	Troque 13	16/05/2010	5,3 ± 1,4	36,3 ± 2,6	1,4 ± 0,3	4 ± 0,9	1,4 ± 0,2	≤ 0,3

**Tableau 5 bis : Prélèvements de sable et de sédiments en 2010 (suite).**

Prélèvements	Lieu	Date	<sup>60</sup> Co	<sup>125</sup> Sb	<sup>137</sup> Cs	<sup>155</sup> Eu	<sup>241</sup> Am	<sup>238</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu + <sup>240</sup> Pu
Sable de plage	Anémone 1	04/04/2009	≤ 0,097	≤ 0,34	≤ 0,083	≤ 0,23	0,19 ± 0,14	2,83 ± 0,16	18,9 ± 0,63
	Anémone 1	03/05/2010	≤ 0,09	≤ 0,29	≤ 0,09	≤ 0,24	0,73 ± 0,11	2,84 ± 0,18	15,1 ± 0,57
Sédiment Mururoa	Aprion 06	08/05/2010	≤ 0,13	≤ 0,4	≤ 0,11	≤ 0,28	1,2 ± 0,2	2,2 ± 0,2	17,6 ± 1,6
	Gorgone 05	08/05/2010	≤ 0,13	≤ 0,39	≤ 0,12	≤ 0,34	2,2 ± 0,3	5,3 ± 0,6	43,1 ± 4,3
	Janie 32	09/05/2010	0,08 ± 0,05	≤ 0,31	0,14 ± 0,08	0,34 ± 0,11	1,3 ± 0,3	2,1 ± 0,3	20,2 ± 2
	Labre 32	09/05/2010	≤ 0,09	≤ 0,26	≤ 0,08	≤ 0,24	3,8 ± 0,5	7,5 ± 1,1	47,4 ± 6,6
	Orque 41	26/04/2010	≤ 0,15	≤ 0,52	≤ 0,16	≤ 0,38	22,8 ± 1,6	55,6 ± 5,4	421 ± 41
	Pieuvre 27	05/05/2010	≤ 0,11	≤ 0,37	≤ 0,11	1,29 ± 0,74	3 ± 0,3	11,6 ± 1,2	54,1 ± 5,4
	Scalaire 15	07/05/2010	≤ 0,12	≤ 0,37	≤ 0,12	0,26 ± 0,1	1,5 ± 0,2	6,3 ± 0,6	29,1 ± 2,4
	Umbre 24	04/05/2010	≤ 0,11	≤ 0,32	≤ 0,1	0,3 ± 0,11	2,3 ± 0,3	10,8 ± 1	48,7 ± 4,5
	Zanclus 25	01/05/2010	≤ 0,09	≤ 0,3	≤ 0,09	≤ 0,26	1,1 ± 0,2	4,7 ± 0,6	22,9 ± 2,4
Sédiment Fangataufa	Cérithé 27	12/05/2010	0,08 ± 0,02	≤ 0,25	≤ 0,08	0,79 ± 0,12	0,8 ± 0,1	3,5 ± 0,3	12 ± 1,1
	Limnée 35	12/05/2010	≤ 0,1	≤ 0,28	≤ 0,08	≤ 0,21	6,7 ± 0,6	25,3 ± 3,7	70,1 ± 9,4
	Mitre 09	16/05/2010	0,17 ± 0,03	≤ 0,27	0,06 ± 0,02	≤ 0,25	4,8 ± 0,5	23,6 ± 6	75 ± 18
	Mitre 26	16/05/2010	0,25 ± 0,05	≤ 0,45	0,32 ± 0,05	1,91 ± 0,53	13,5 ± 1,1	29,4 ± 4,7	90 ± 13
	Troque 13	16/05/2010	0,15 ± 0,02	≤ 0,28	≤ 0,09	1,02 ± 0,41	7,9 ± 0,6	72,6 ± 8	201 ± 22

