

**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

| | |
|--|-----------|
| PREAMBULE | 3 |
| Chapitre I LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU PERSONNEL | 19 |
| 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 |
| Chapitre II LA SURVEILLANCE DU MILIEU TERRESTRE | 35 |
| 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 |
| Chapitre III LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES | 41 |
| 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 |
| Chapitre IV LA SURVEILLANCE DU LAGON | 59 |
| 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 |

| | |
|---|------------|
| Chapitre V SURVEILLANCE DU PLATIER EXTERNE ET DES FLANCS D'ATOLL | 117 |
| 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 |
| | |
| Chapitre VI LA SURVEILLANCE DU MILIEU OCEANIQUE | 137 |
| 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 |
| | |
| CONCLUSION | 141 |
| 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 interinsulaires...).

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

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

dont le contenu a été approuvé en avril 2010 par la Commission de Sûreté pour la Surveillance des anciens Sites d'expérimentation nucléaires (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 «Colette¹», provenant des essais aériens de sécurité,
- des traces de césium 137 et de plutonium 239 en zone Kilo², 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^{ème} 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

¹ Voir figure 2.

² 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 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).

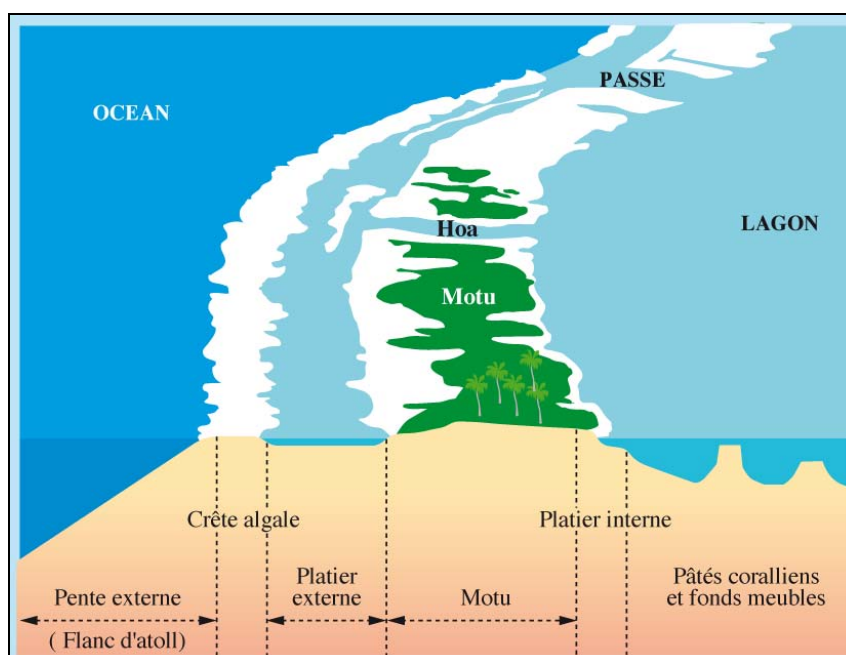


Figure 1 : Coupe schématique d'un atoll.

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 |
|---|--|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| <i>SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT DU PERSONNEL</i> | | | | |
| 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 | |
| <i>MILIEU TERRESTRE</i> | | | | |
| 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 |
| <i>EAUX SOUTERRAINES</i> | | | | |
| EAUX SOUTERRAINES | 10 l (1 l) + 2x50 ml | 1/an | 13 points lagon 4 points à terre | 4 points lagon |
| <i>LAGON</i> | | | | |
| 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 |
| <i>MILIEU OCEANIQUE PROCHE, PLATIER ET PENTE EXTERNE</i> | | | | |
| 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 |
| <i>MILIEU OCEANIQUE DANS LA LIMITE DES 12 MILLES NAUTIQUES</i> | | | | |
| 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).

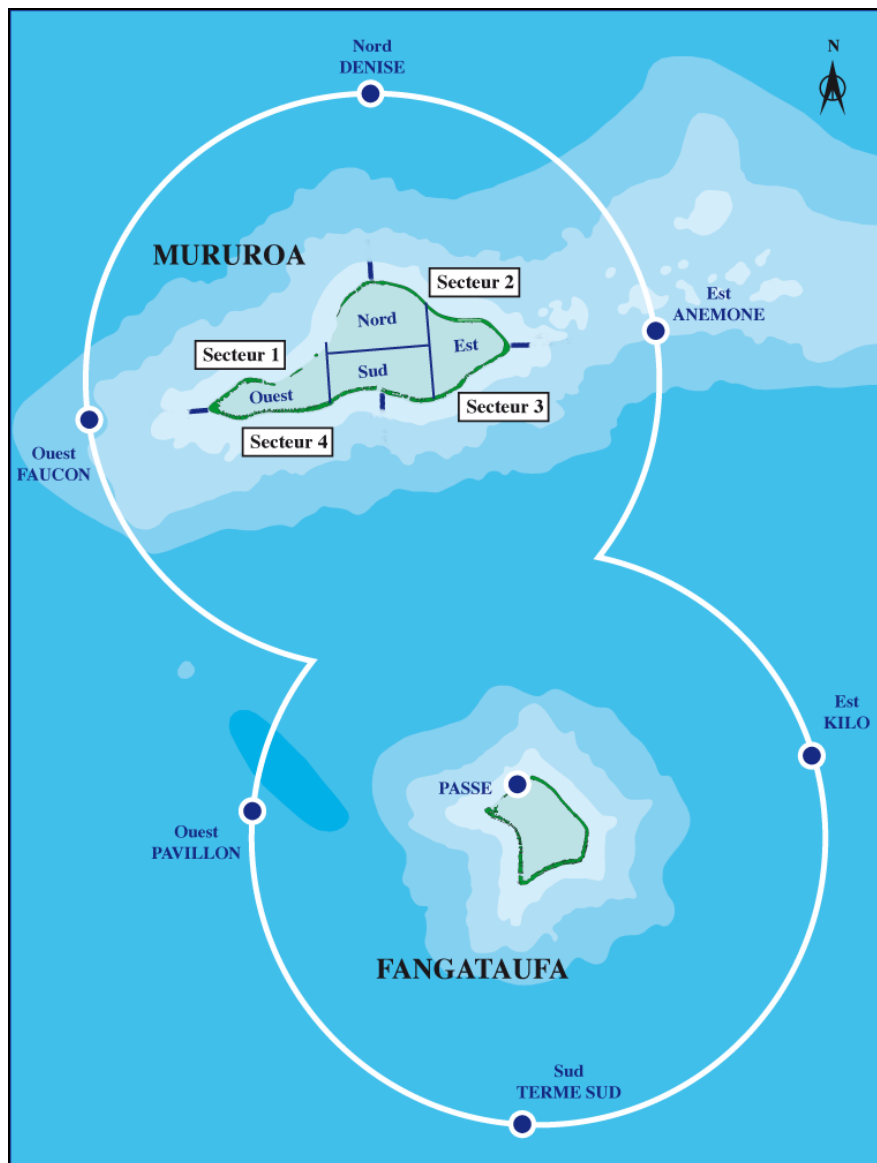


Figure 4 : Carte des zones océaniques des 12 nautiques autour de Mururoa et Fangataufa.

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) | | ● | | | ● | ● | ● | |
| ⁷ Be | ● | | | | | | | |
| ²² Na | ● | | | | | | | |
| ⁴⁰ K | ● | | ● | ● | | | | ● |
| ²¹⁰ Pb | ● | | ● | ● | | | | |
| ²²⁶ Ra * * | | | ● | ● | | | | |
| ²²⁸ Th | | | ● | ● | | | | |
| ²²⁸ Ac | | | ● | ● | | | | |
| ²³⁴ Th | | | ● | ● | | | | |
| ²³⁵ U | | | ● | ● | | | | |
| ⁶⁰ Co | | | ● | ● | | | | ● |
| ⁹⁰ Sr | | ● | ● | ● | ● | | ● | ● |
| ¹²⁵ Sb | | | ● | ● | | | | |
| ¹³⁷ Cs | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● |
| ¹⁵⁵ Eu | | | ● | ● | | | | |
| ²³⁸ Pu | ● | ● | ● | ● | ● * | | ● | ● |
| ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu | ● | ● | ● | ● | ● * | | ● | ● |
| ²⁴¹ Am | | | ● | ● | | | | |

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

** mesure réalisée à l'aide de son descendant le ²¹⁴Pb

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 ⁻³ |
| EAUX | Bq.m ⁻³ |
| SÉDIMENTS & SOLS | Bq.kg ⁻¹ * |
| Prélèvements BIOLOGIQUES | Bq.kg ⁻¹ ** ou Bq.l ⁻¹ |

* 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⁻¹. Afin de suivre l'évolution de l'activité des eaux, les résultats sont toujours présentés en Bq.m⁻³.

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

7. - EXPRESSION DES RESULTATS

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

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

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

Dans ce cas, soit :

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

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

8 - 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}Cs dans l'eau de coco, nous estimons la période apparente de décroissance (figure 5).

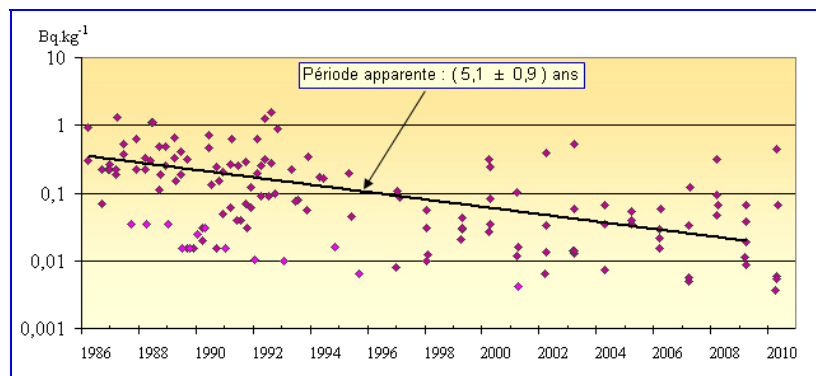


Figure 5 : Décroissance du ^{137}Cs dans l'eau de coco.

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

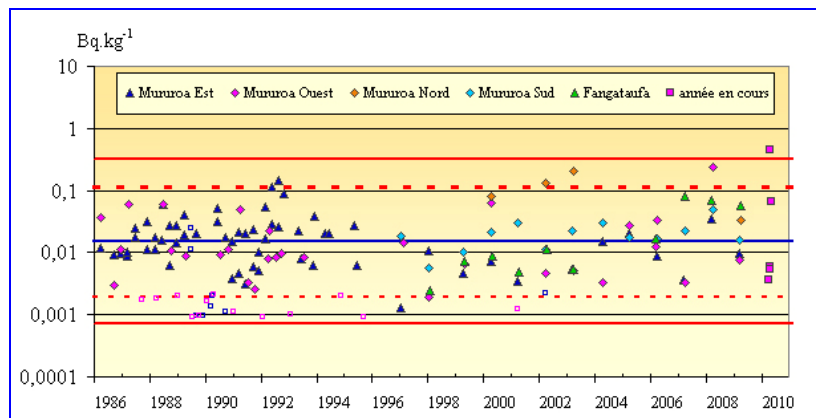


Figure 6 : Activité du ^{137}Cs dans l'eau de coco ramenée au 1^{er} mai 2010.

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

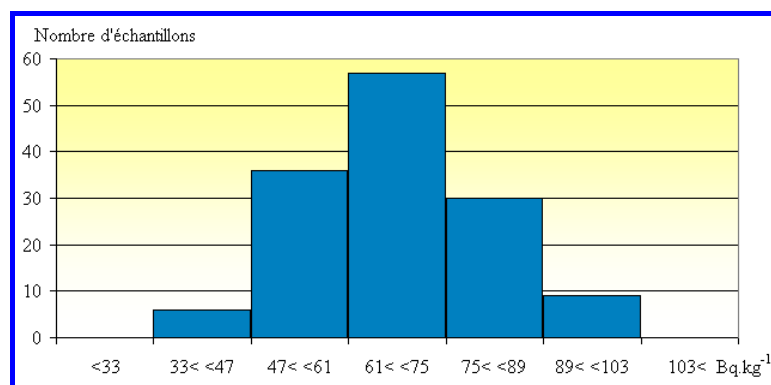


Figure 7 : Répartition de type loi normale de l'activité massique du ^{40}K dans les prélèvements d'eau de coco.

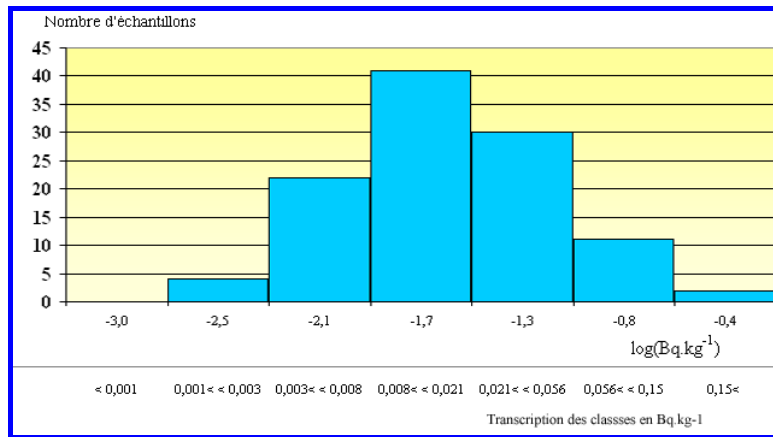


Figure 8 : Répartition de type loi log-normale de l'activité massique du ¹³⁷Cs dans les prélèvements d'eau de coco.

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

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

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

n étant le nombre d'échantillons pris en compte
 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 σ_y selon les formules suivantes :

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

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

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 :

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

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

L'incertitude sur la pente s'écrit donc :

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

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).

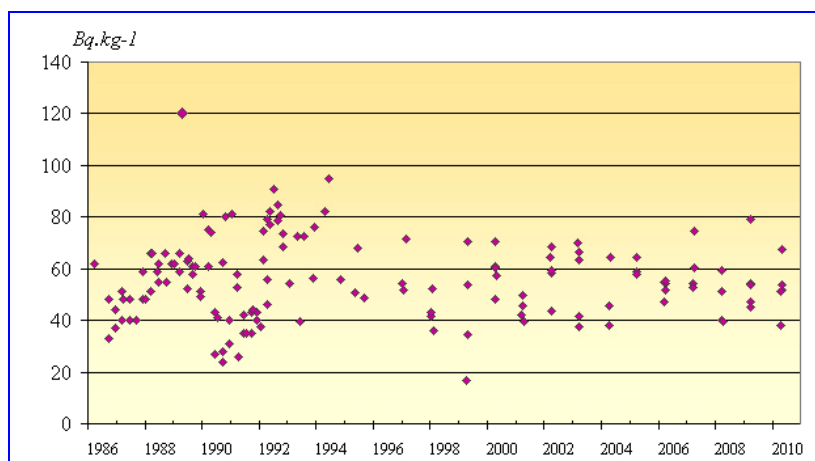


Figure 9 : Activité du ^{40}K dans l'eau de coco (jusqu'en 2010).

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.

| Prélèvements | 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 | | | | | | | | | |
| Analyses réalisées | 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.).

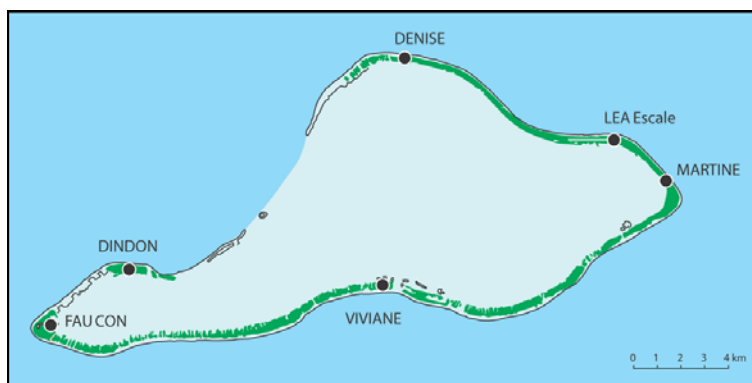


Figure I.1. : Emplacements des dosimètres sur l'atoll de Mururoa.

I.1.2. - LES RESULTATS

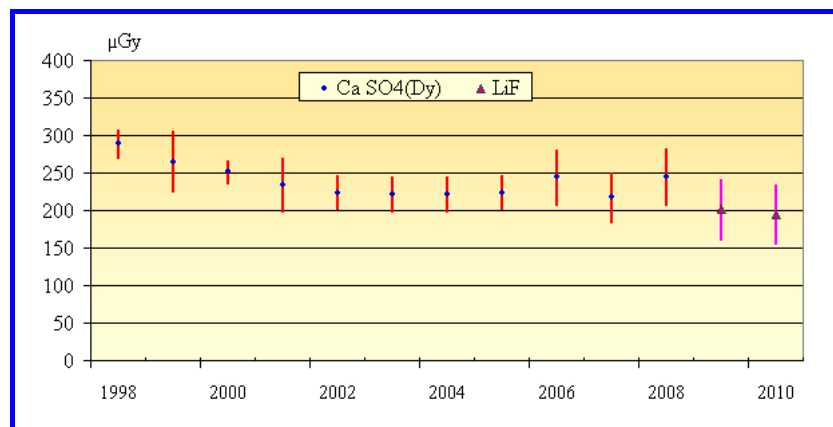
Le tableau I.1. regroupe les résultats obtenus en 2010.
La valeur moyenne est de $195 \pm 39 \mu\text{Gy}$.

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

| Emplacement | Exposition externe (μGy) |
|-------------|---------------------------------------|
| Denise | 184 ± 37 |
| Léa escale | 228 ± 46 |
| Martine | 208 ± 42 |
| Viviane | 226 ± 45 |
| Faucon | 154 ± 31 |
| Dindon | 170 ± 34 |
| Moyenne | 195 ± 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^{er} 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.

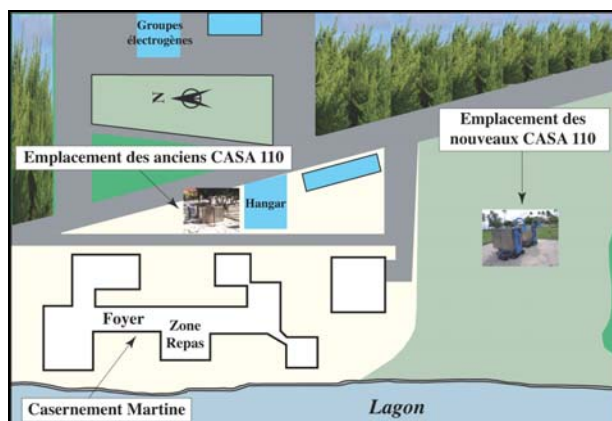


Figure I.3. : Localisation des anciens et des nouveaux CASA 110 en zone Martine.

Les filtres de l'appareil de référence font l'objet d'une mesure directe par spectrométrie γ sur détecteur semi-conducteur Ge HP. Une mise en solution et une extraction chimique sont ensuite réalisées afin d'isoler les isotopes du plutonium. L'activité du dépôt résultant du traitement chimique est mesurée par spectrométrie α .

Les filtres de l'appareil de secours regroupés par semestre, sont mesurés par spectrométrie gamma 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^{er} 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 m³ et les volumes mensuels de l'ordre de 72 400 m³.

Les résultats (^7Be , ^{22}Na , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) seront examinés radionucléide par radionucléide. ^7Be , ^{22}Na , ^{40}K et ^{210}Pb sont quatre radionucléides naturels qui peuvent être considérés comme des traceurs atmosphériques (^7Be , ^{22}Na pour les hautes couches et ^{40}K , ^{210}Pb pour les basses couches). ^{137}Cs , ^{238}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}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 γ (il se désintègre par capture électronique).

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

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

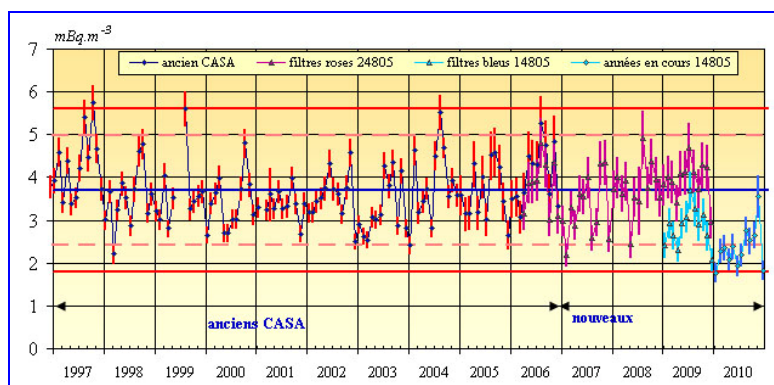


Figure I.4. : Évolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle en ^7Be depuis 1997.

Sodium 22

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

Tableau I.3. : Activité atmosphérique (Bq.m^{-3}) en ^{22}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}Na depuis 1997.

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

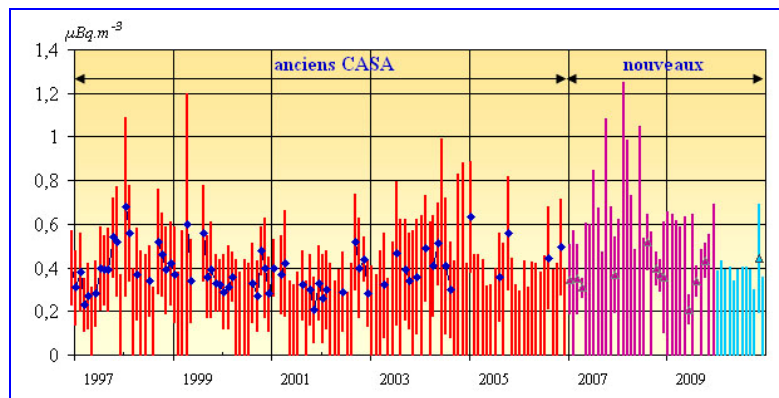


Figure I.5. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle en ^{22}Na depuis 1997.

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}Na pour 2010. (moyenne semestrielle en Bq.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}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 (Bq.m^{-3}) en ^{40}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 $(8,2 \pm 0,7) \mu\text{Bq.m}^{-3}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % $[4,3 ; 12,1] \mu\text{Bq.m}^{-3}$ traduit la dispersion des résultats.

Les valeurs 2010 qui varient entre $[7,4 \text{ et } 11,5] \mu\text{Bq.m}^{-3}$, 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}K depuis janvier 1999.

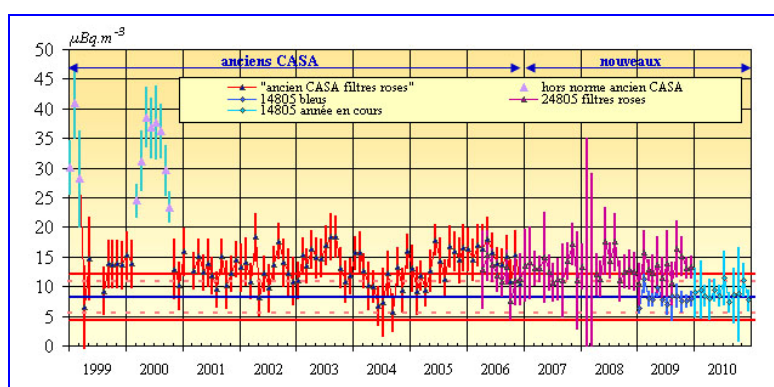


Figure I.6. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle en ^{40}K depuis janvier 1999.

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

Le tableau I.6. présente les résultats semestriels.

Tableau I.6. : Activité volumique atmosphérique (Bq.m^{-3}) en ^{40}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}K est sans variation notable par rapport aux années précédentes.

Plomb 210

Le ^{210}Pb présent dans la basse atmosphère est directement produit par la désintégration du ^{222}Rn . Il est rapidement piégé par les aérosols puis déposé au sol par les précipitations. Les moyennes mensuelles, obtenues cette année 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}Pb depuis 1997.

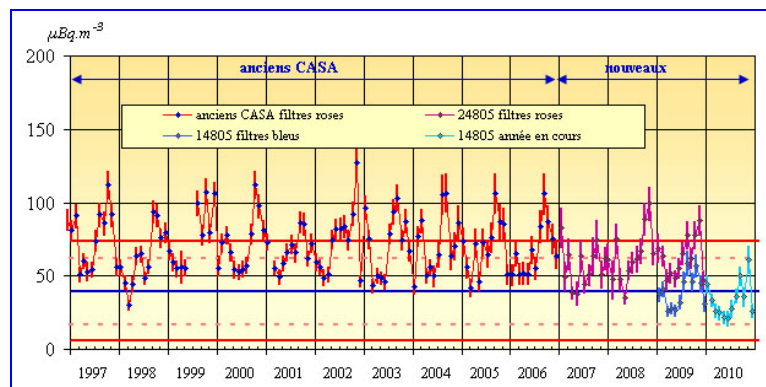
Tableau I.7. : Activité atmosphérique (Bq.m⁻³) en ²¹⁰Pb en 2010.

| | |
|-----------|-------------------------|
| 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 équipé 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 ²¹⁰Pb 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.

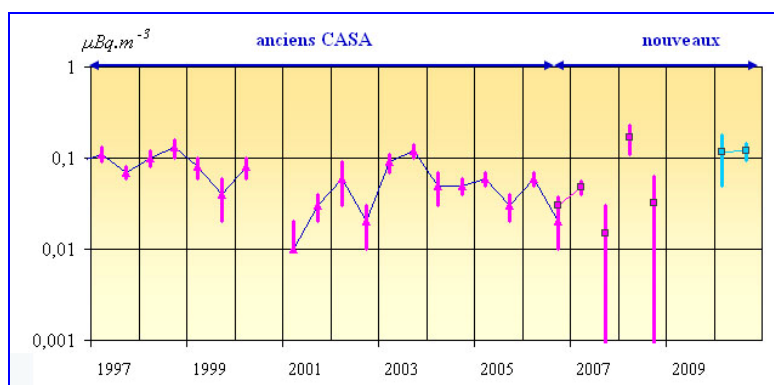
Tableau I.8. : Activité atmosphérique (Bq.m^{-3}) en ^{137}Cs en 2010.

| | |
|-----------|--------------------------|
| 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}Cs depuis 1997.

Tableau I.9. : Activité volumique atmosphérique (Bq.m^{-3}) due au ^{137}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}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⁻³) en ²³⁸Pu 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 ²³⁸Pu, 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⁻³) en ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu 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⁻³. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,001 ; 6].10⁻⁶ Bq.m⁻³ traduit la dispersion des résultats des mesures sur les anciens CASA.

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

De manière générale, les valeurs mesurées sur les 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 ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu depuis 1997.

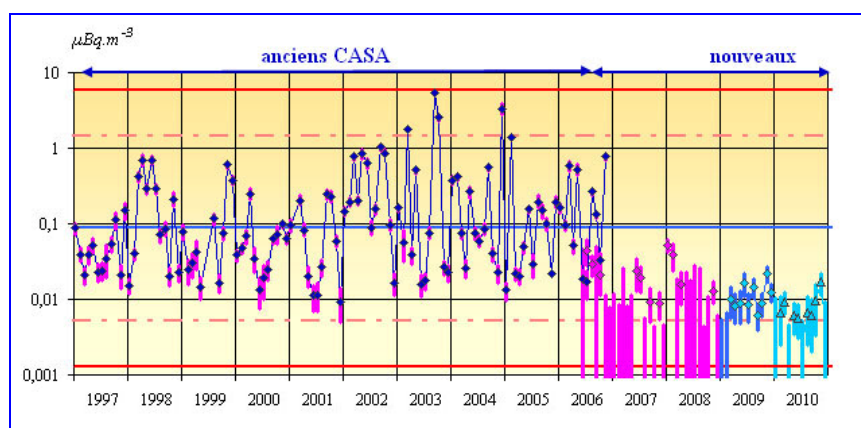


Figure I.9. : Evolution de l'activité atmosphérique moyenne mensuelle en $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1997.

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 α ;
- 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 ⁻³) | ⁹⁰ Sr (Bq.m ⁻³) | ¹³⁷ Cs (Bq.m ⁻³) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.m ⁻³) | ²³⁸ Pu (Bq.m ⁻³) |
|---------------------|------------------------------|---|--|--|--|
| 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 γ sur détecteur semi-conducteur Ge HP (mesure du ^{137}Cs et autres émetteurs γ) ;
- une recherche et une mesure du plutonium (^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) par spectrométrie α sur chambre à grille ou sur chambre à détecteur semi-conducteur Si.

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

I.4.2. - LES RESULTATS

Les résultats des mesures de la radioactivité des principaux radionucléides naturels (^{40}K , ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{235}U et ^{228}Ac) et artificiels (^{60}Co , ^{90}Sr , ^{125}Sb , ^{137}Cs , ^{155}Eu , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu et ^{241}Am) obtenus en 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}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}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}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$) dans le sable de plage d'Anémone en 2009 et 2010.

| date | ^{234}Th ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$) | ^{226}Ra (^{214}Pb) ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$) | ^{210}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}Pb

L'activité en ^{234}Th et ^{226}Ra est proche des valeurs des années précédentes ou de celles mesurées dans les sols et les sédiments. Un important fractionnement de la chaîne de l'uranium 238 est observé. Le résultat de mesure permet de mettre en évidence une discontinuité de la chaîne au niveau du radium 226 ; l'activité du ^{226}Ra est plus de 10 fois plus faible que celle du ^{234}Th . Cette discontinuité est également constatée dans les sols et les sédiments.

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}U est environ 20 fois plus faible que celle obtenue par le ^{234}Th . On peut en conclure qu'il y a un équilibre radioactif entre ^{238}U et son descendant ^{234}Th dans le sable puisque le rapport d'activité $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ 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}Ac), radionucléide émetteur γ faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th , est donnée dans le tableau I.18.

Tableau I.18. : Activité massique en ^{228}Ac (Bq.kg⁻¹ 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}Co , ^{125}Sb , ^{137}Cs et ^{155}Eu (Bq.kg⁻¹ sec) dans le sable de plage d'Anémone en 2010.

| date | ^{60}Co (Bq.kg ⁻¹ sec) | ^{125}Sb (Bq.kg ⁻¹ sec) | ^{137}Cs (Bq.kg ⁻¹ sec) | ^{155}Eu (Bq.kg ⁻¹ 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⁻¹ sec) et rapport en activité du plutonium dans le sable de plage d'Anémone en 2009 et 2010.

| date | Activité massique en Bq.kg ⁻¹ sec | | Rapport |
|------|--|-------------------------------------|---|
| | ^{238}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.

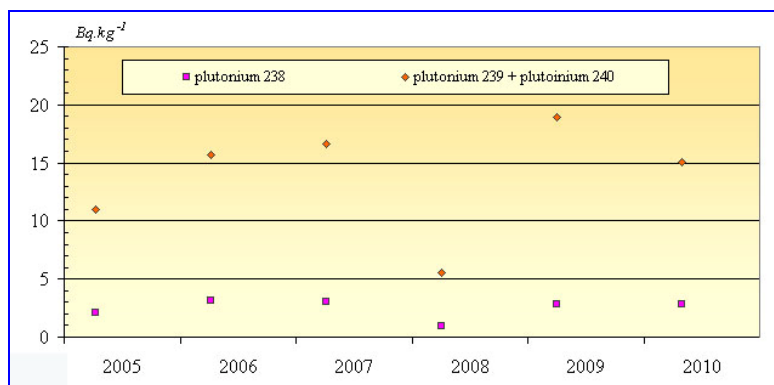


Figure I.10. : Evolution de l'activité massique du sable en plutonium depuis 2005.

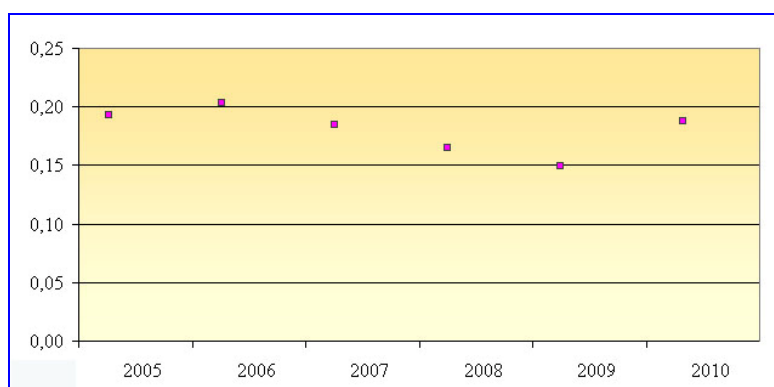


Figure I.11. : Evolution du rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) depuis 2005..

Américium 241

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

Tableau I.21. : Activité massique en ^{241}Am (Bq.kg⁻¹ 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.

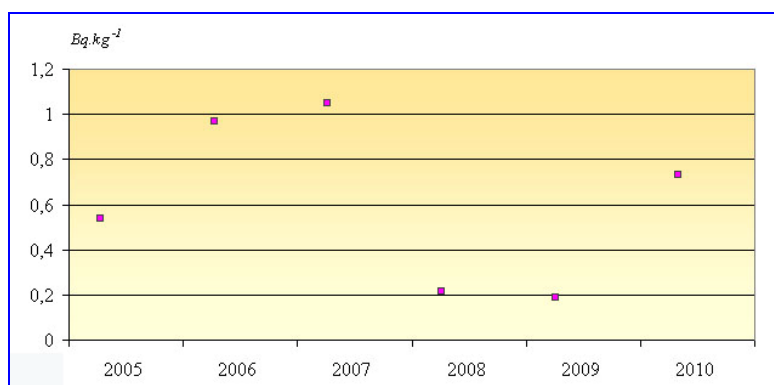


Figure I.12. : Evolution de l'activité massique du sable en ^{241}Am depuis 2005.

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⁻¹) en 2010.

| Lieux | Date | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | ¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹) | ⁹⁰ Sr (Bq.kg ⁻¹) | ⁶⁰ Co (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁸ Pu (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.kg ⁻¹) |
|--------------------|------------|---|---|--|--|---|---|
| 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 |

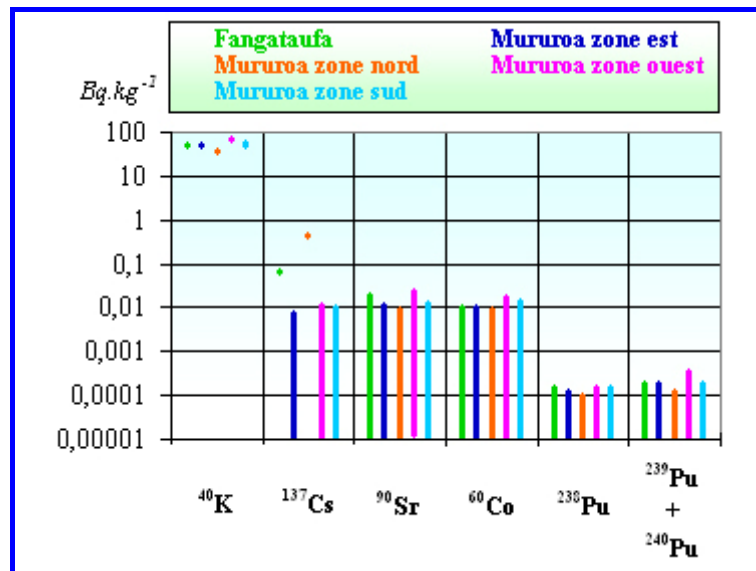


Figure II.1. – Activité de l’eau de coco en 2010.

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 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).

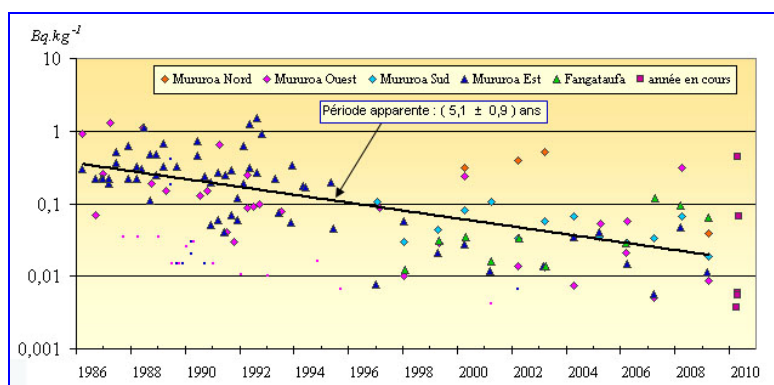


Figure II.2. - Évolution de l'activité du césium 137 de l'eau de coco depuis 1986.

À l'aide de la période apparente globale, les valeurs mesurées sur les 118 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1^{er} 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.

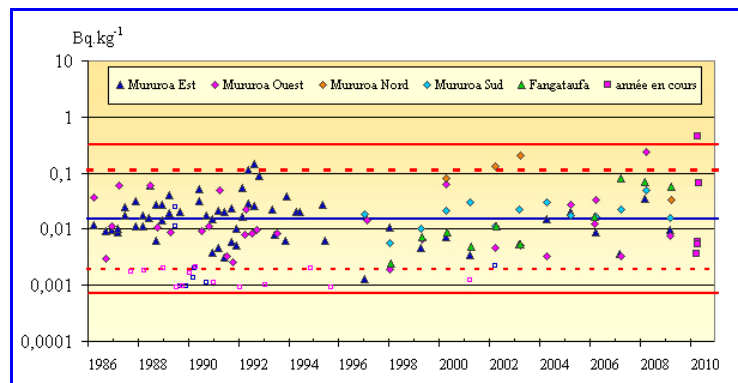


Figure II.3. - Activité du césium 137 de l'eau de coco depuis 1986. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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.

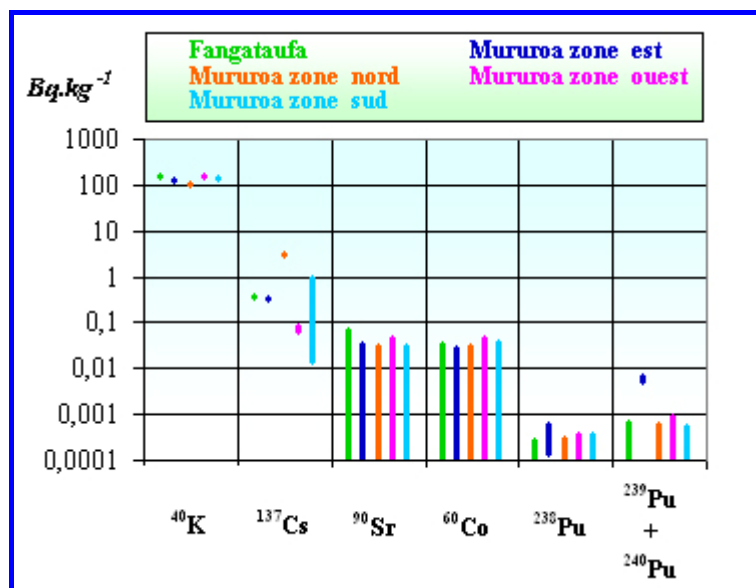
Tous les échantillons sont calcinés. Les cendres sont mesurées directement en spectrométrie gamma. Des opérations d'extraction chimique sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.

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⁻¹) en 2010.

| Lieux | Date | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | ¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹) | ⁹⁰ Sr (Bq.kg ⁻¹) | ⁶⁰ Co (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁸ Pu (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.kg ⁻¹) |
|--------------------|------------|---|---|--|--|---|---|
| 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 ± 3 Bq.kg⁻¹. Les valeurs de 2010 qui varient entre 104 et 159 Bq.kg⁻¹ sont comprises dans l'intervalle de probabilité 99,7 % [72 ; 160] Bq.kg⁻¹ 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).

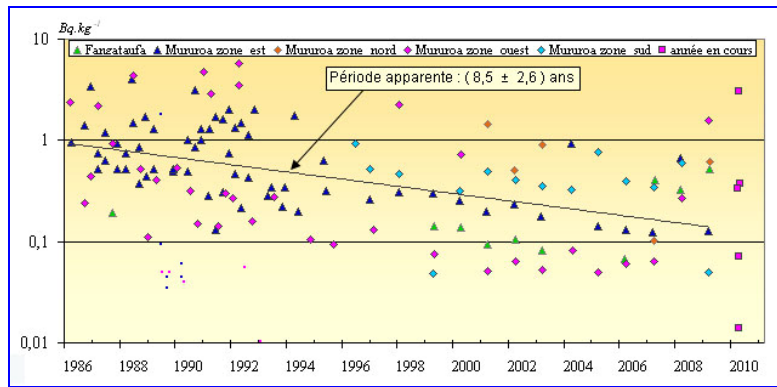
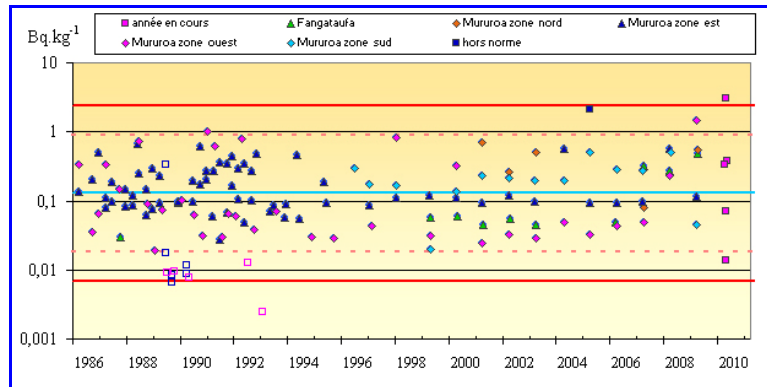


Figure II.5. – Evolution de l'activité du césium 137 du coprah depuis 1986.

À l'aide de cette période apparente globale, les valeurs mesurées sur les 140 échantillons prélevés depuis 1986 sont ramenées au 1^{er} 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 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^{er} 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).

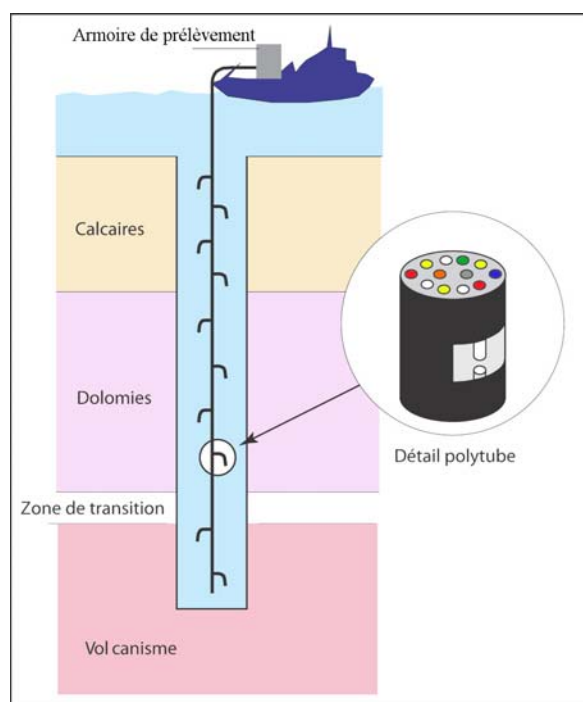


Figure III.1. - Principe de prélèvement des eaux souterraines.



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

* Pieuvre 37 (300 m), ²³⁸Pu ≤ 0,23 Bq.m⁻³ et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu ≤ 0,35 Bq.m⁻³

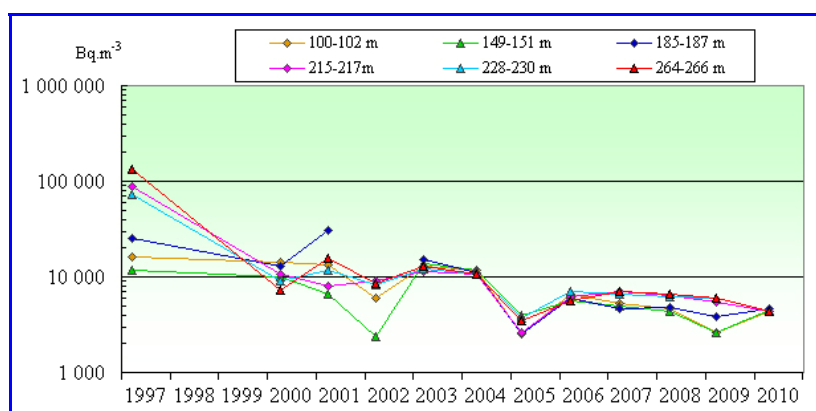


Figure III.4. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de GEO 5B depuis 1997.

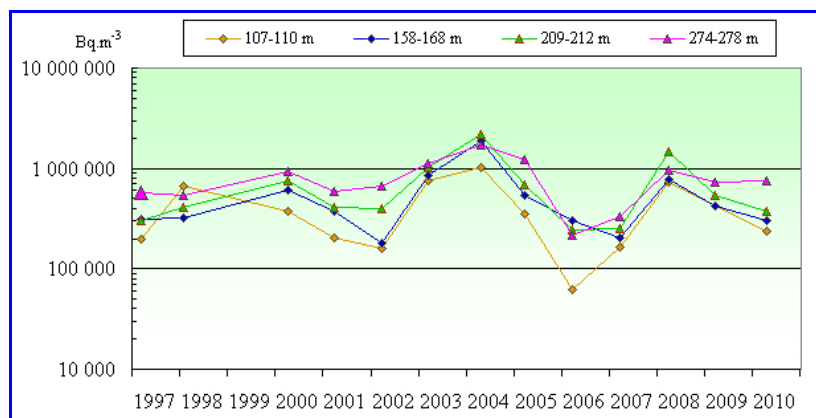


Figure III.5. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de GEO 8B depuis 1997.

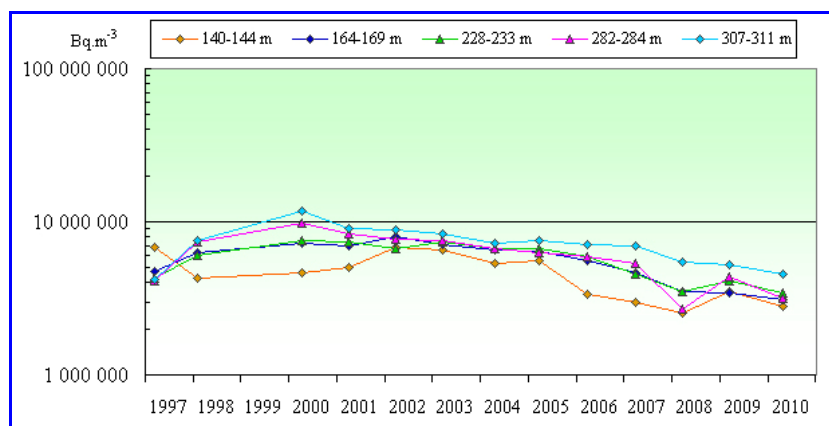


Figure III.6. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de GEO 10B depuis 1997.

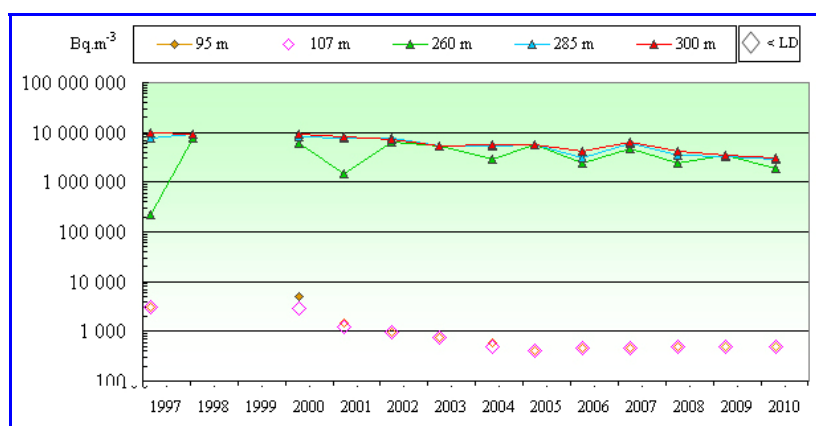


Figure III.7. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de PIEUVRE 37 depuis 1997.

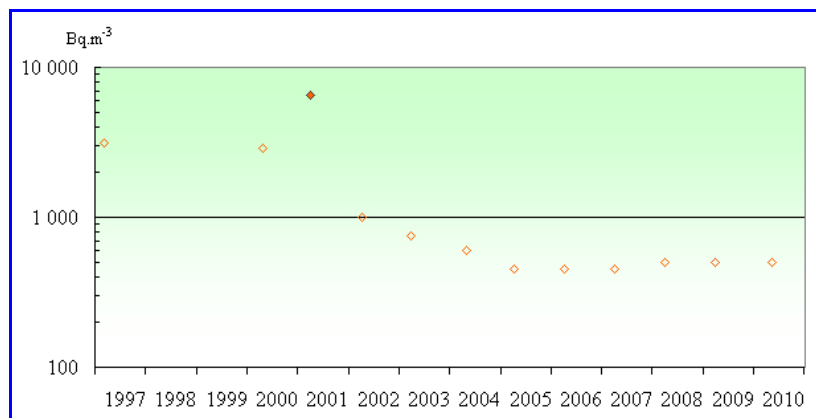


Figure III.8. - Évolution de la radioactivité HTO à la seule cote (100 m) de MURENE 27 depuis 1997.

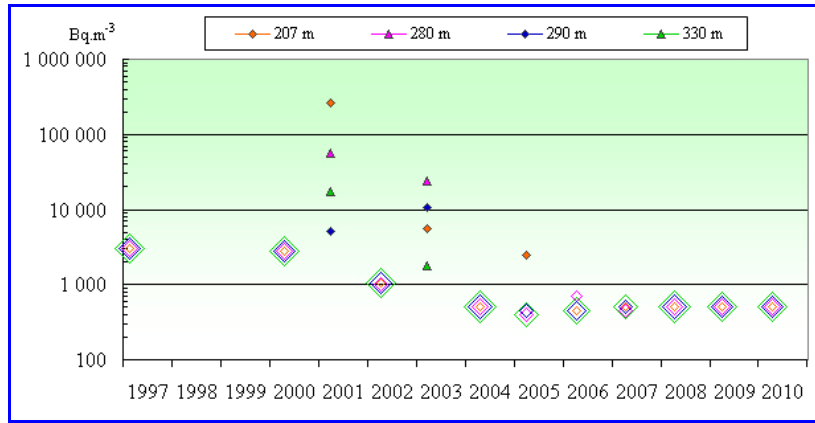


Figure III.9. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de WHALE 30 depuis 1997.

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/⁹⁰Sr et HTO/¹³⁷Cs de l’ordre de 10⁵. L’observatoire Scalaire 22 présente des valeurs des rapports HTO/⁹⁰Sr et HTO/¹³⁷Cs 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 ⁻³) | ⁹⁰ Sr (Bq.m ⁻³) | ¹³⁷ Cs (Bq.m ⁻³) | Rapport HTO / Sr | Rapport HTO / Cs |
|-------------|----------------|--------------------------------|--|---|--------------------------------|--------------------------------|
| Tazard 14 | 193 m | (1,92 ± 0,1) .10 ⁵ | 5,73 ± 0,89 | 5,05 ± 0,82 | (3,35 ± 0,55) .10 ⁴ | (3,8 ± 0,65) .10 ⁴ |
| | 245 m | (2,03 ± 0,1) .10 ⁶ | (3,39 ± 0,43) .10 ¹ | (1,45 ± 0,4) .10 ¹ | (5,99 ± 0,81) .10 ⁴ | (1,4 ± 0,39) .10 ⁵ |
| | 290 m | (2,04 ± 0,11) .10 ⁶ | (4,47 ± 0,57) .10 ¹ | (1,61 ± 0,21) .10 ¹ | (4,56 ± 0,63) .10 ⁴ | (1,27 ± 0,18) .10 ⁵ |
| Scalaire 22 | 100 m | (1,47 ± 0,1) .10 ⁴ | (2,66 ± 0,45) .10 ¹ | (3,07 ± 0,51) .10 ¹ | (5,53 ± 1,01) .10 ² | (4,79 ± 0,86) .10 ² |
| | 135 m | (2,2 ± 0,1) .10 ⁴ | (3,05 ± 0,41) .10 ¹ | (2,87 ± 0,57) .10 ¹ | (7,21 ± 1,02) .10 ² | (7,67 ± 1,56) .10 ² |
| | 192 m | (2,48 ± 1,3) .10 ⁴ | (4,97 ± 0,65) .10 ¹ | (3,14 ± 0,53) .10 ¹ | (4,99 ± 2,7) .10 ² | (7,9 ± 4,35) .10 ² |
| | 245 m | (1,65 ± 1,4) .10 ⁴ | (6,69 ± 0,87) .10 ¹ | (2,11 ± 0,27) .10 ¹ | (2,47 ± 2,12) .10 ² | (7,82 ± 6,71) .10 ² |
| Pieuvre 23 | 100 m | (4,49 ± 0,2) .10 ⁴ | 0,69 ± 0,27 | 2 ± 0,83 | (6,51 ± 2,56) .10 ⁴ | (2,25 ± 0,94) .10 ⁴ |
| | 145 m | (4,33 ± 0,2) .10 ⁴ | 1,74 ± 0,49 | ≤ 2,7 | (2,49 ± 0,71) .10 ⁴ | non calculé |
| | 175 m | (4,38 ± 0,24) .10 ⁴ | 2,08 ± 0,59 | ≤ 2,9 | (2,11 ± 0,61) .10 ⁴ | non calculé |

* Tazard 14 (290 m), ²³⁸Pu ≤ 0,014 Bq.m⁻³ et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu = 0,045 ± 0,016 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.

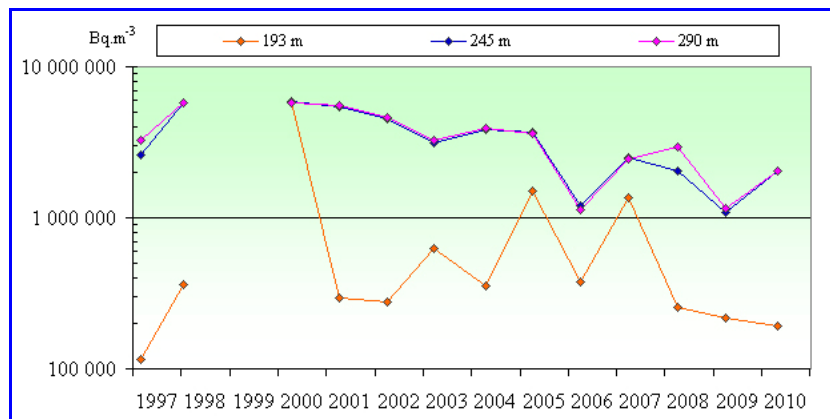


Figure III.10. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de TAZARD 14 depuis 1997.

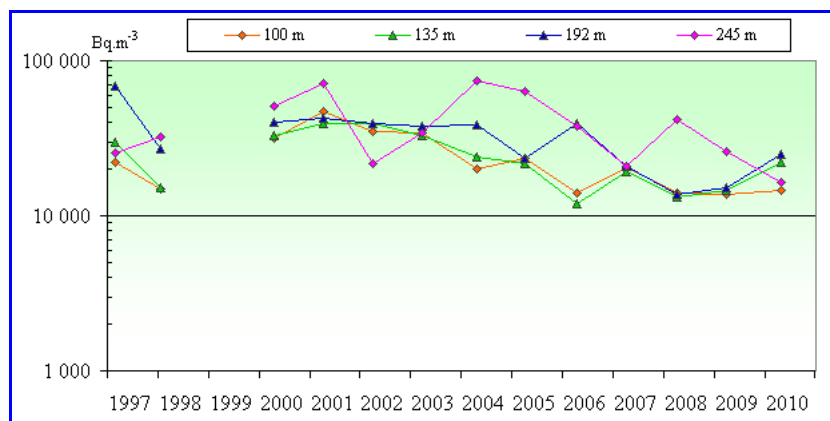


Figure III.11. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de SCALAIRE 22 depuis 1997.

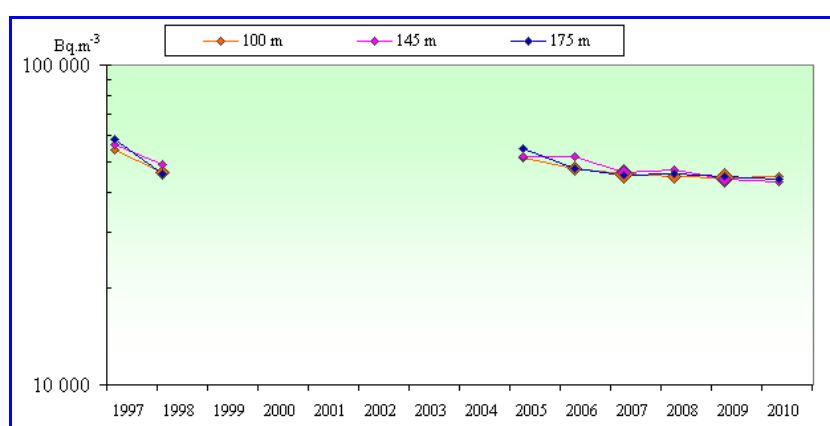


Figure III.12. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de PIEUVRE 23 depuis 1997.

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

* Murène 16 (100 m), ²³⁸Pu ≤ 0,012 Bq.m⁻³ et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu ≤ 0,025 Bq.m⁻³

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.

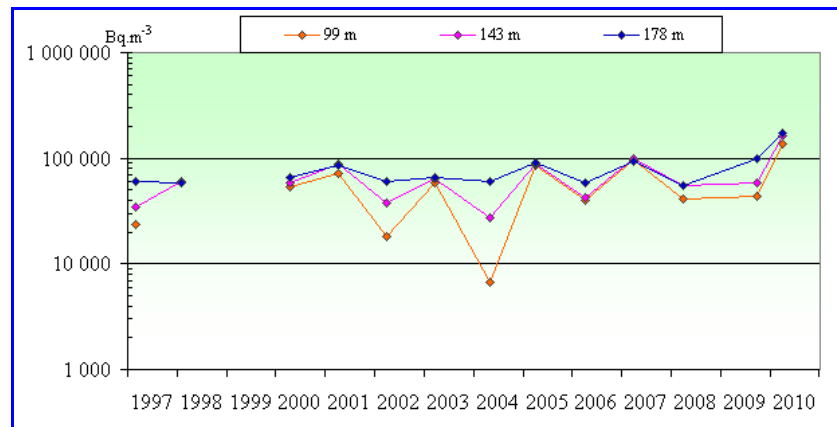


Figure III.13. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de ORQUE 13 depuis 1997.

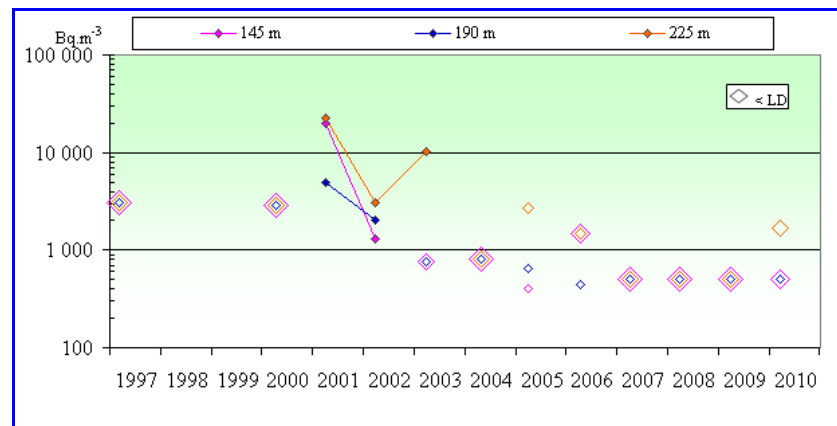


Figure III.14. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de LABRE 13 depuis 1997.

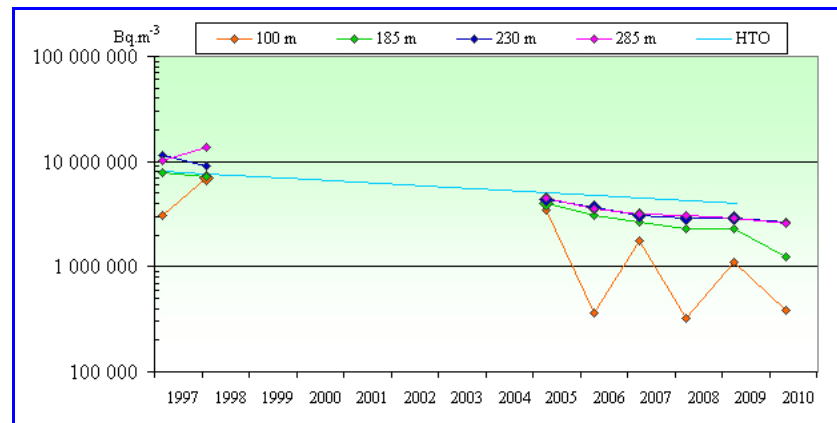


Figure III.15. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de MURENE 16 depuis 1997.

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

* Krill 23 (220 m), ²³⁸Pu ≤ 0,019 Bq.m⁻³ et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu ≤ 0,02 Bq.m⁻³

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.

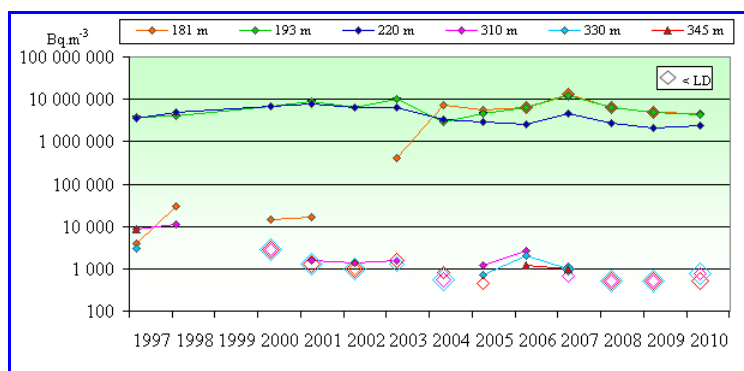


Figure III.16. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de KRILL 23 depuis 1997.

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

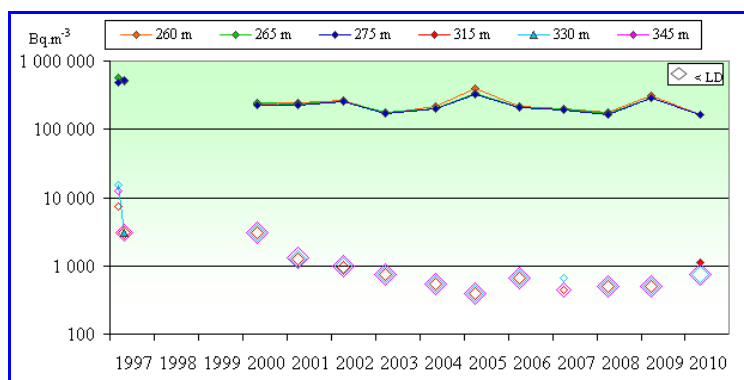


Figure III.17. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de ISURUS 10 depuis 1997.

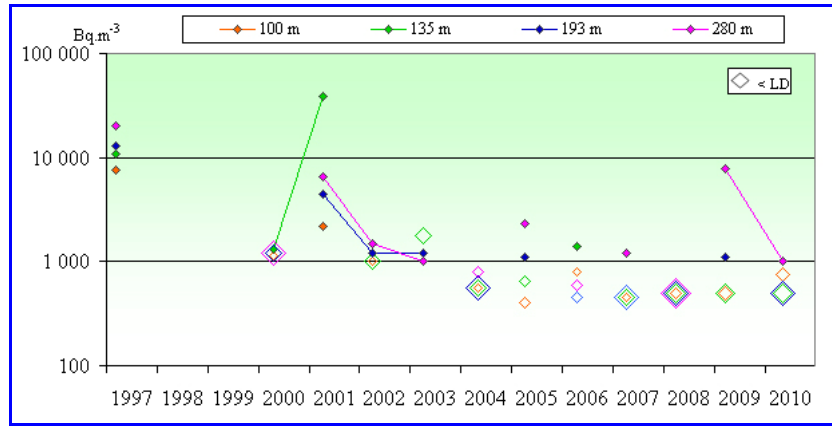


Figure III.18. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de FLET 08 depuis 1997.

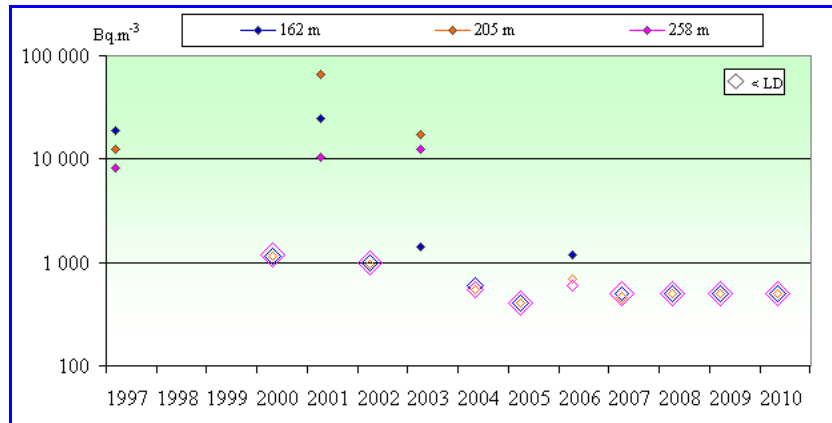


Figure III.19. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de DRAGON 09 depuis 1997.

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.

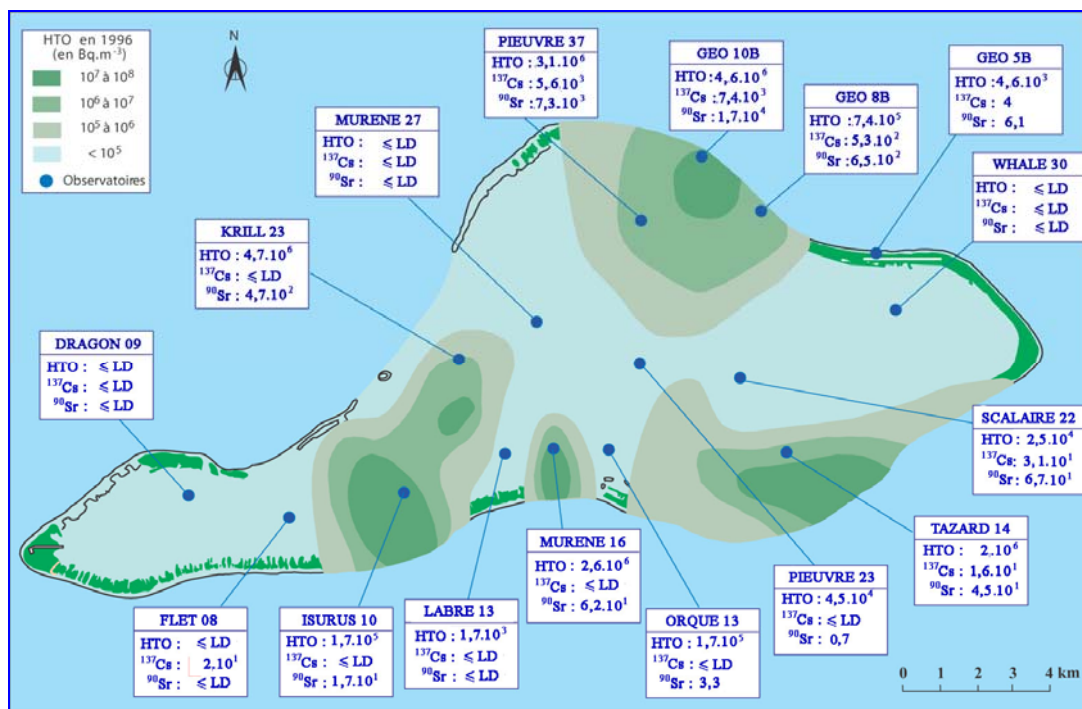


Figure III.20. - Répartition en eau tritiée des eaux souterraines dans les carbonates en 1996 et les activités maximales en Bq.m⁻³ observées en 2010 dans les observatoires de Mururoa.

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/⁹⁰Sr de l'ordre de 10⁴ et un rapport HTO/¹³⁷Cs de l'ordre de 4.10⁴). 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 ⁻³) | ⁹⁰ Sr (Bq.m ⁻³) | ¹³⁷ Cs (Bq.m ⁻³) | Rapport HTO / Sr | Rapport HTO / Cs |
|---------------|----------------|--------------------------------|--|---|---------------------------------|--------------------------------|
| Natrice 19 | 200 m | (1,64 ± 0,19) .10 ⁵ | (2,62 ± 8,59) .10 ¹ | ≤ 2,9 | (6,26 ± 20,54) .10 ³ | non calculé |
| | 235 m | (1,64 ± 0,27) .10 ⁵ | (5,43 ± 0,69) .10 ¹ | ≤ 2,7 | (3,02 ± 0,63) .10 ³ | non calculé |
| | 320 m | (1,4 ± 0,4) .10 ³ | 1 ± 0,37 | ≤ 2,1 | (1,4 ± 0,65) .10 ³ | non calculé |
| | 340 m | (1,7 ± 0,5) .10 ³ | 1,46 ± 0,42 | ≤ 2,6 | (1,16 ± 0,48) .10 ³ | non calculé |
| Fuseau 30 | 193 m | (1,18 ± 0,06) .10 ⁶ | (2,58 ± 0,32) .10 ² | (7,26 ± 0,91) .10 ¹ | (4,57 ± 0,61) .10 ³ | (1,63 ± 0,22) .10 ⁴ |
| | 215 m | (1,1 ± 0,06) .10 ⁶ | (2,31 ± 0,29) .10 ² | (7,73 ± 0,92) .10 ¹ | (4,76 ± 0,65) .10 ³ | (1,42 ± 0,19) .10 ⁴ |
| | 255 m | (4,03 ± 0,21) .10 ⁵ | (7,82 ± 0,99) .10 ¹ | (2,46 ± 0,57) .10 ¹ | (5,15 ± 0,71) .10 ³ | (1,64 ± 0,39) .10 ⁴ |
| | 268 m | (4,01 ± 0,21) .10 ⁵ | (7,65 ± 0,97) .10 ¹ | (2,2 ± 0,29) .10 ¹ | (5,24 ± 0,72) .10 ³ | (1,82 ± 0,26) .10 ⁴ |
| Mitre 27 | 233-235 m | (2 ± 0,4) .10 ³ | 1,33 ± 0,41 | 1,39 ± 0,73 | (1,5 ± 0,55) .10 ³ | (1,44 ± 0,81) .10 ³ |
| | 237-239 m | (1,7 ± 0,5) .10 ³ | 0,56 ± 0,4 | ≤ 3,1 | (3,04 ± 2,34) .10 ³ | non calculé |
| Porcelaine 23 | 203 m | (2,7 ± 0,4) .10 ³ | 1,98 ± 0,95 | ≤ 1,9 | (1,36 ± 0,68) .10 ³ | non calculé |
| | 257 m | (1,24 ± 0,08) .10 ⁴ | 0,76 ± 0,49 | ≤ 2,2 | (1,63 ± 1,06) .10 ⁴ | non calculé |
| | 270 m | (1,7 ± 0,1) .10 ⁴ | 1,03 ± 0,43 | ≤ 3 | (1,65 ± 0,7) .10 ⁴ | non calculé |

* Fuseau 30 (193 m), ²³⁸Pu ≤ 0,01Bq.m⁻³ et ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu = (0,041 ± 0,018) Bq.m⁻³

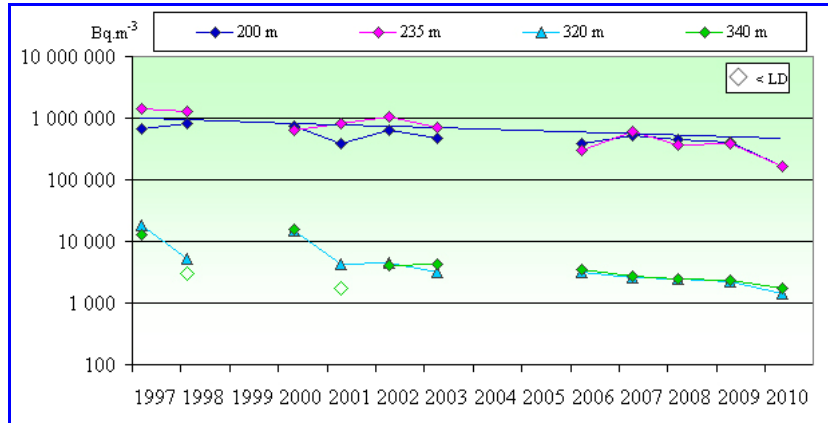


Figure III.21. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de NATICE 19 depuis 1997.

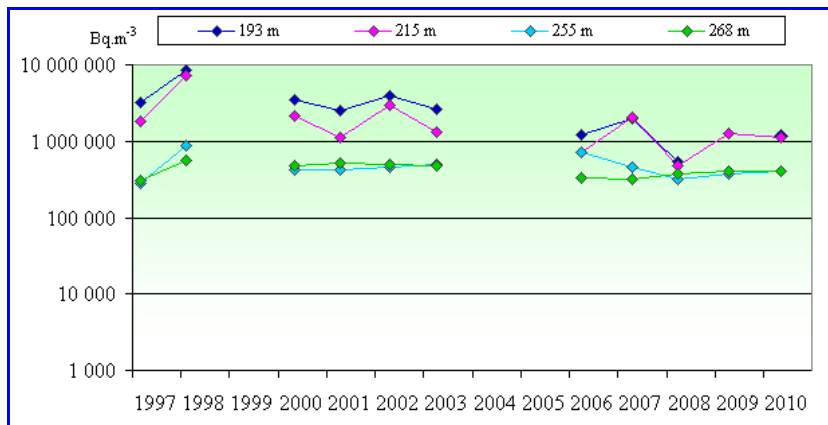


Figure III.22. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de FUSEAU 30 depuis 1997.

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 ¹³⁷Cs et du ⁹⁰Sr. Ces mesures sont au niveau des activités volumiques de l'eau du lagon.

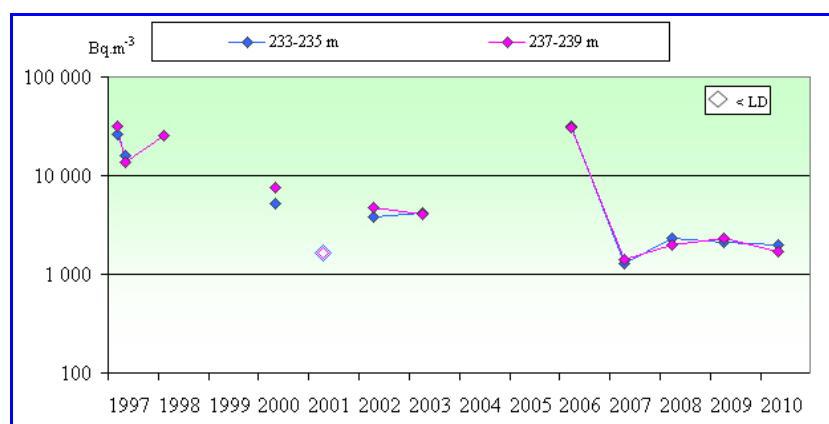


Figure III.23. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de MITRE 27 depuis 1997.

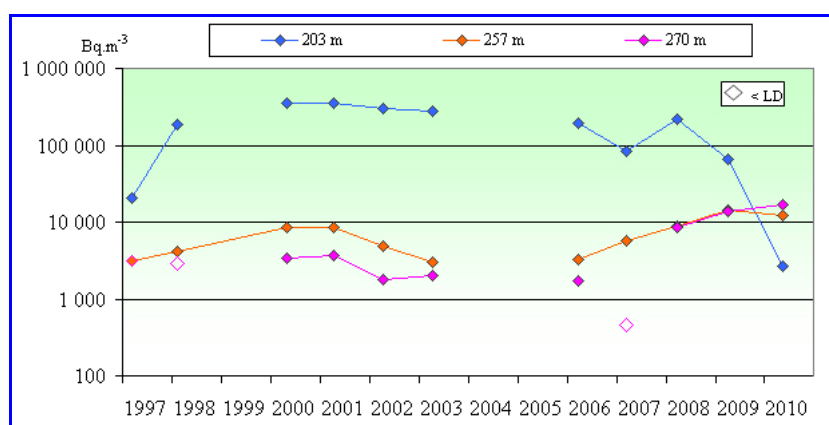


Figure III.24. - Évolution de la radioactivité HTO aux différentes cotes de PORCELAINE 23 depuis 1997.

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.

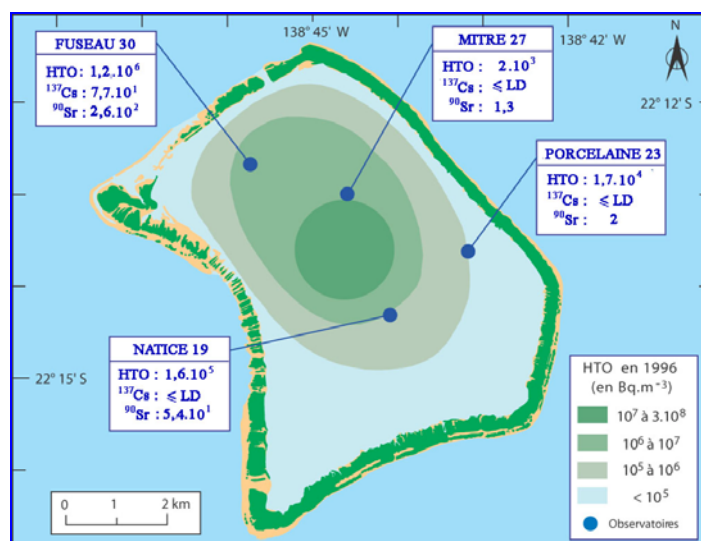


Figure III.25. - Répartition de l'eau tritiée des eaux souterraines dans les carbonates en 1996 et des activités maximales (en Bq.m⁻³) observées en 2010 dans les observatoires de Fangataufa.

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.).

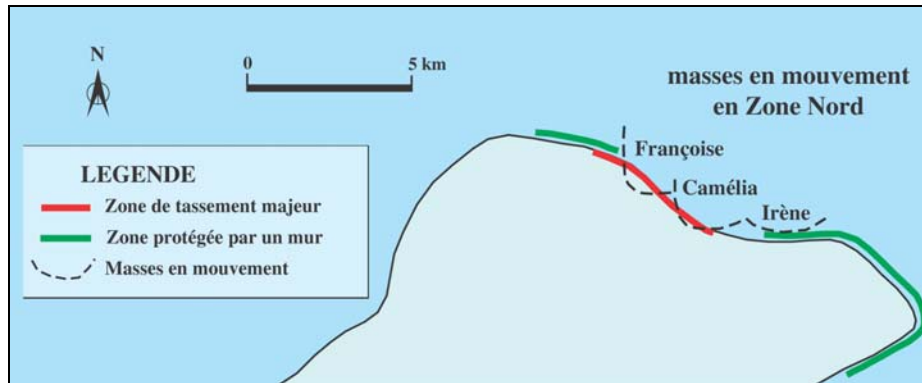


Figure III.26. - Carte de la zone Nord-Est de l'atoll de Mururoa avec les zones faisant l'objet d'une surveillance.

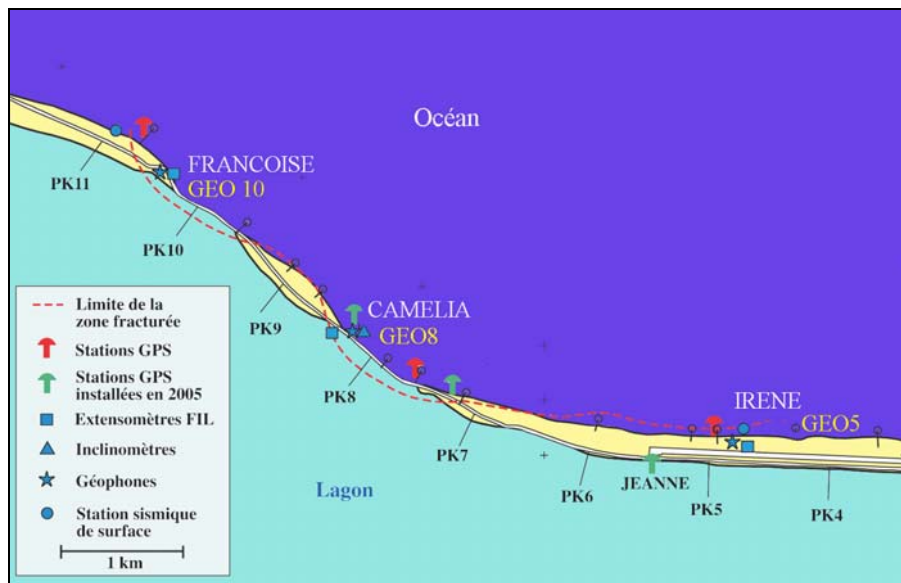


Figure III.27. - Détail de l'implantation de l'instrumentation de la zone Nord-Est de Mururoa.

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.

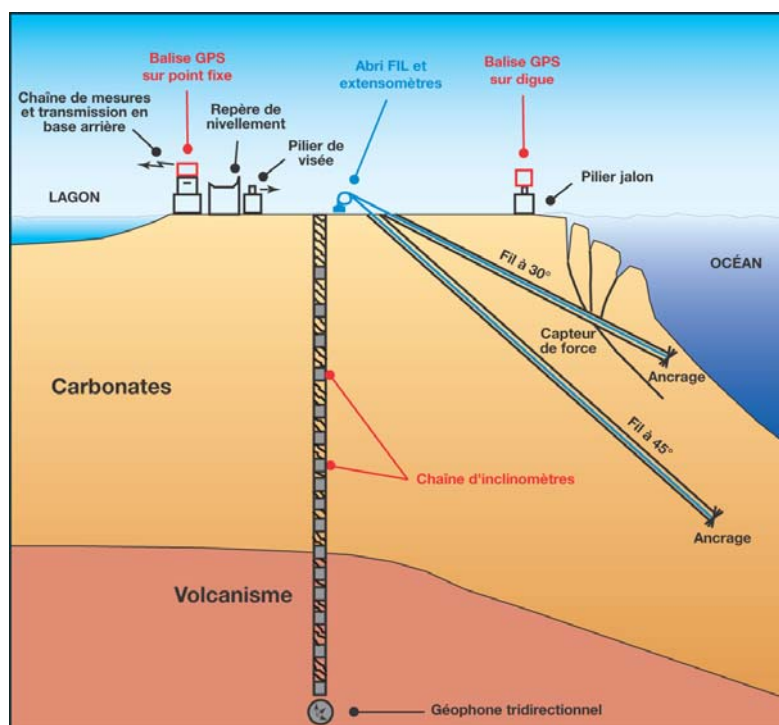


Figure III.28. - Principaux types de mesures implantées en zone Nord-Est à Mururoa.

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

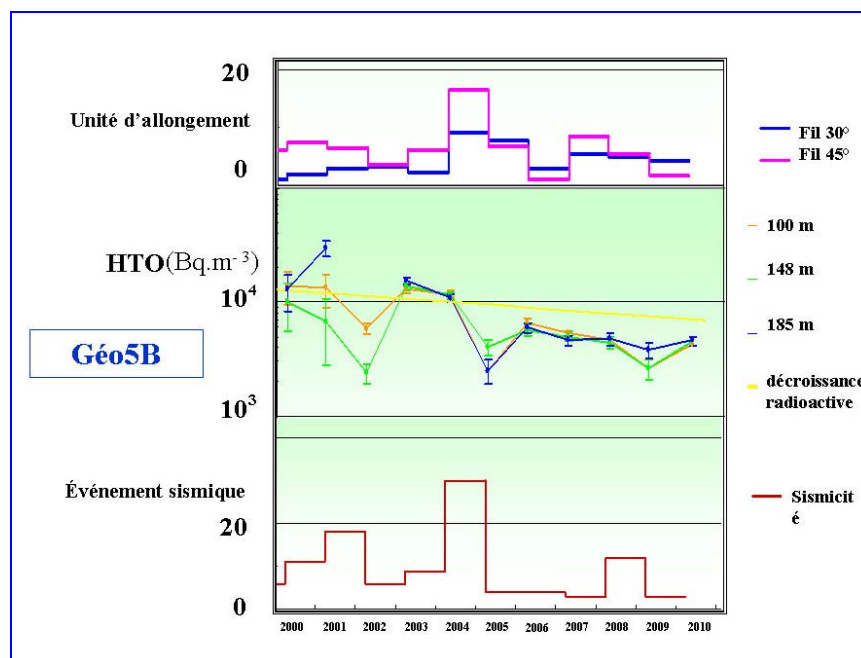


Figure III.29. - Variation de l'activité HTO en GEO5B, allongement des fils et nombre d'événements microsismiques en zone Irène.

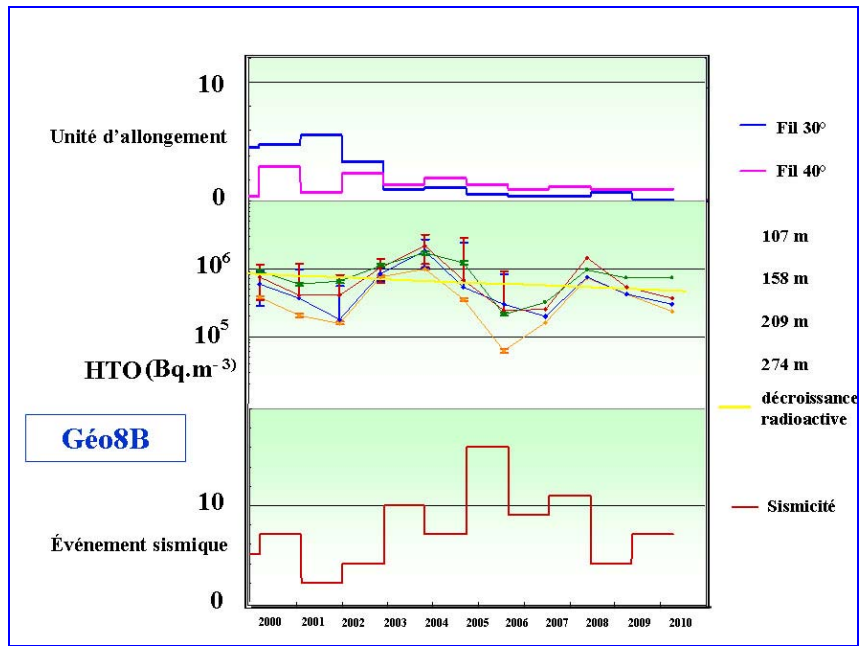


Figure III.30. - Variation de l'activité HTO en GEO8B, allongement des fils et nombre d'événements microsismiques en zone Camélia.

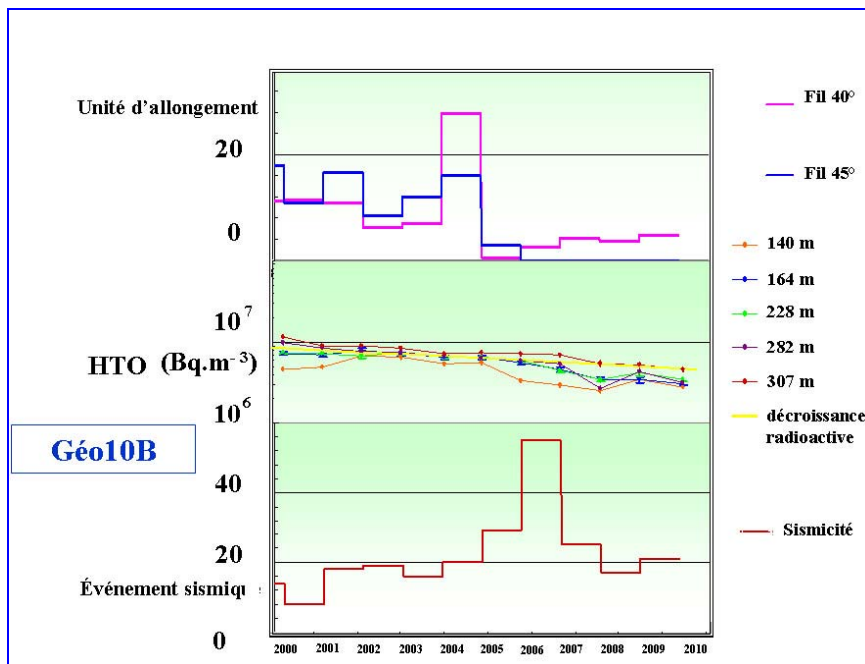


Figure III.31. - Variation de l'activité HTO en GEO10B, allongement des fils et nombre d'événements microsismiques en zone Française.

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.

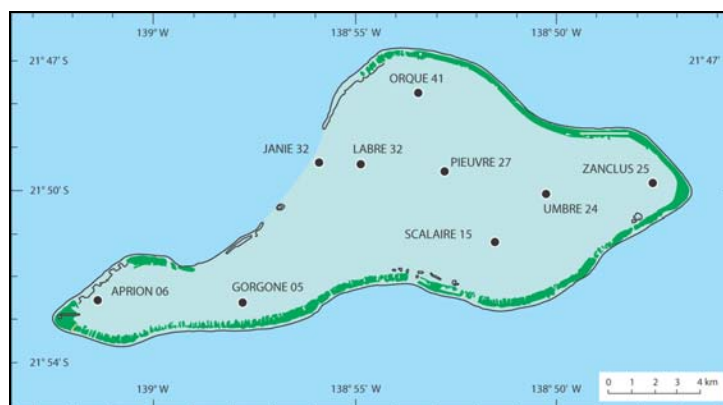


Figure IV.1. - Emplacements des prélèvements d'eau de lagon sur l'atoll de Mururoa.

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.

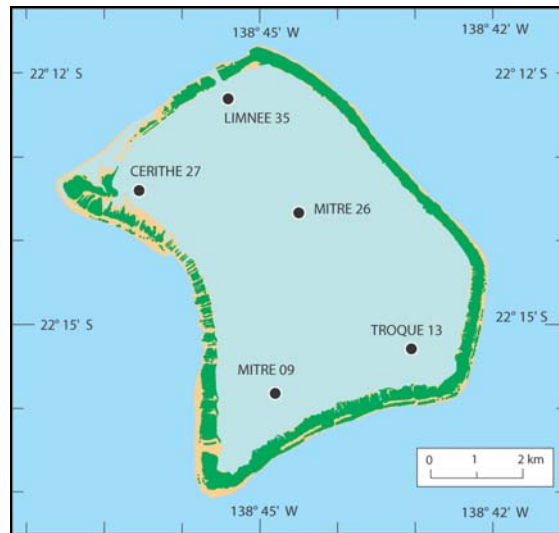


Figure IV.2. - Emplacements des prélèvements d'eau de lagon sur l'atoll de Fangataufa.



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}Cs par spectrométrie γ sur détecteur semi-conducteur Ge HP.

IV.1.2.1. - L'atoll de Mururoa

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

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 |

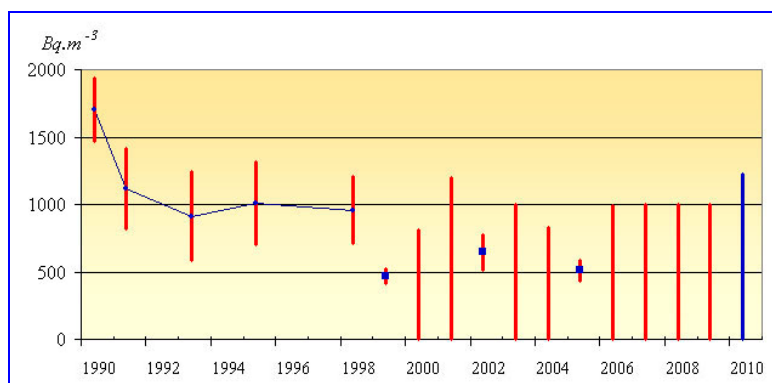
Eau tritiée (HTO)

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 ⁻³) |
|-------------------|-------------|--------------------------------|
| 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}Cs des eaux du lagon à Mururoa en 2010.

| Zones | Lieux | Activité (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}Cs des eaux du lagon à Mururoa depuis 1982.

On remarque une diminution notable de l'activité volumique en ^{137}Cs de l'eau du lagon qui n'est pas imputable qu'à la seule décroissance radioactive de cet élément. Le réservoir en ^{137}Cs constitué par les sédiments du lagon s'est amoindri notablement au fil des ans par solubilisation du ^{137}Cs . Depuis 1989, l'activité en ^{137}Cs des eaux du lagon est du même ordre de grandeur que celle des eaux océaniques polynésiennes. La période de décroissance apparente, à l'origine de l'ordre de 6,2 ans, est actuellement de l'ordre de 12,5 ans.

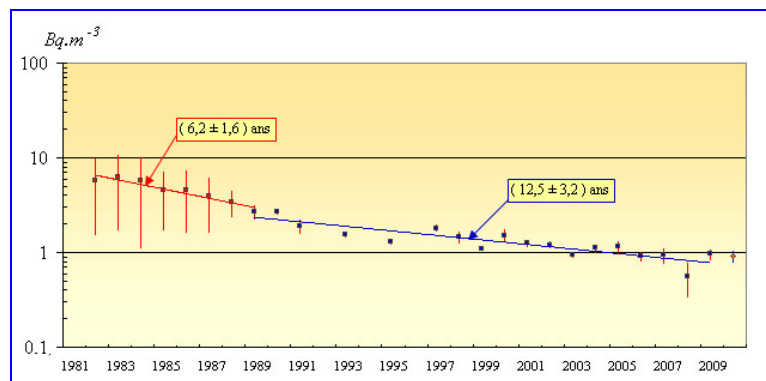


Figure IV.4. - Évolution de l'activité volumique moyenne en ^{137}Cs des eaux du lagon à Mururoa depuis 1982.

À l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 138 échantillons prélevés depuis 1989, sont ramenées au 1^{er} 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.

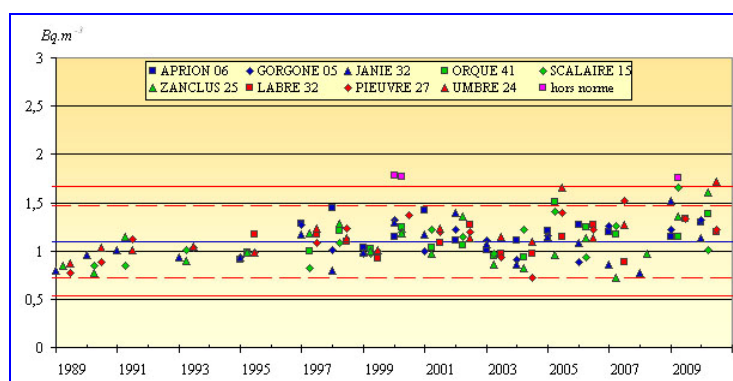


Figure IV.5. - Activité volumique en ^{137}Cs des eaux du lagon à Mururoa depuis 1989. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010)

En 2008, les mesures ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}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}Sr des eaux du lagon à Mururoa en 2010.

| Zones | Lieux | Activité (Bq.m^{-3}) |
|-------------------|-------------|---------------------------------|
| Pourtour du lagon | Aprion 06 | $0,6 \pm 0,2$ |
| | Gorgone 05 | $0,5 \pm 0,1$ |
| | Janie 32 | $0,8 \pm 0,1$ |
| | Orque 41 | $0,6 \pm 0,2$ |
| | Scalaire 15 | $0,7 \pm 0,2$ |
| | Zanclus 25 | ≤ 1 |
| Centre du lagon | Labre 32 | $0,7 \pm 0,1$ |
| | Pieuvre 27 | $0,6 \pm 0,1$ |
| | Umbre 24 | $0,7 \pm 0,2$ |
| Moyenne | | $0,6 \pm 0,1$ |

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

L'activité volumique en ^{90}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.

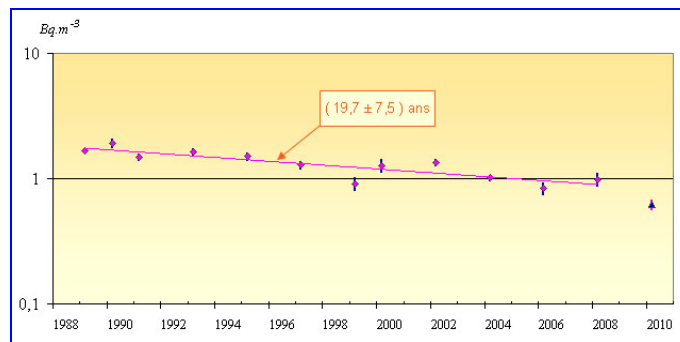


Figure IV.6. : Evolution de l'activité volumique moyenne en ^{90}Sr dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1989.

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^{er} 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⁻³. 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.

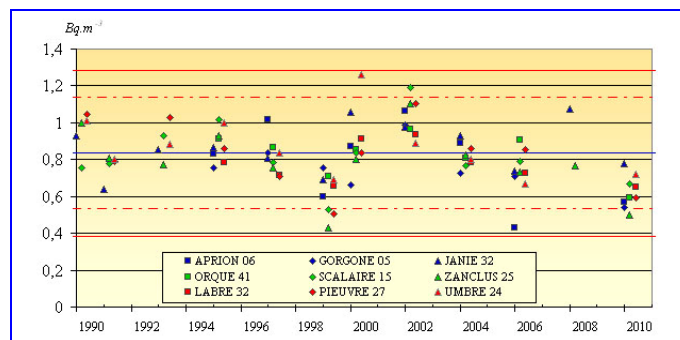


Figure IV.7.: Activité volumique en ^{90}Sr dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1989. (valeurs ramenées au 01/05/2010)

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.

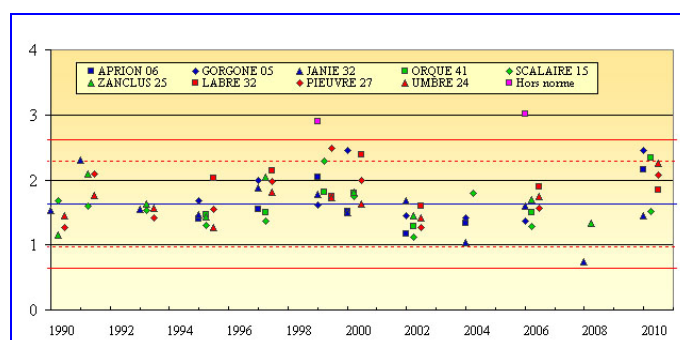


Figure IV.8. : Rapport en activité ($^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$) des eaux du lagon de Mururoa depuis 1989.

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}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ et rapport des plutoniums dans les eaux du lagon de Mururoa en 2010.

| Zones | Lieux | Activité (Bq.m^{-3}) | Activité (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}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.

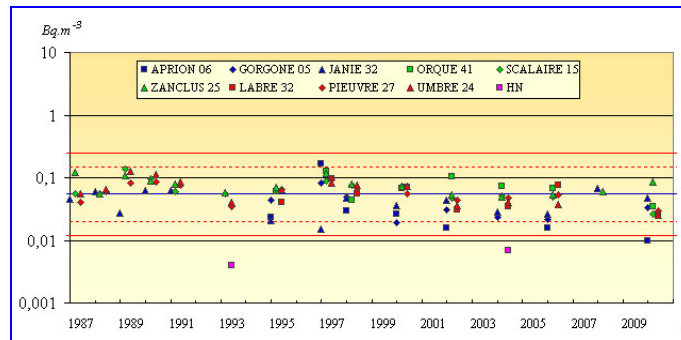


Figure IV.9. : Activité volumique en ^{238}Pu dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1987.

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⁻³), les autres valeurs 2010 qui varient entre 0,11 et 0,35 Bq.m⁻³ sont comprises dans cet intervalle.

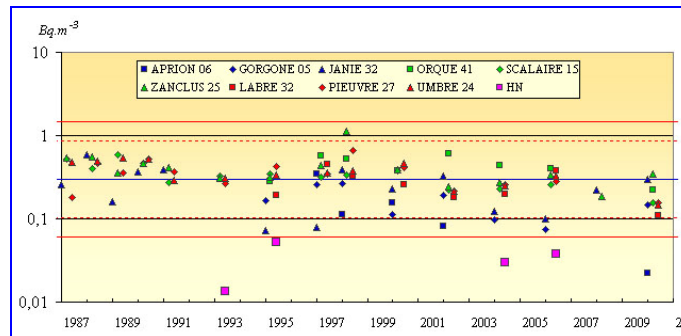


Figure IV.10. : Activité volumique en $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ dans les eaux du lagon de Mururoa depuis 1987.

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.

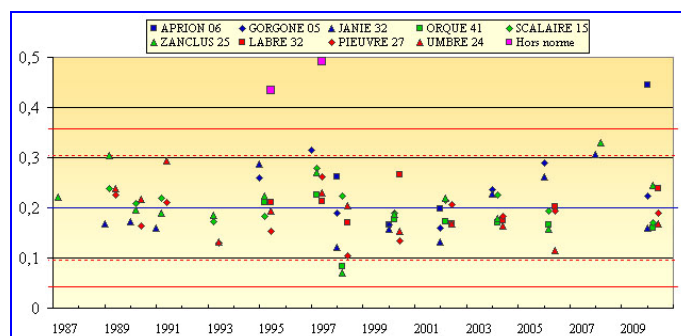


Figure IV.11. : Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) dans les eaux du lagon de Mururoa calculé depuis 1987.

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}Cs sont de $1,3 \text{ Bq.m}^{-3}$, celles en ^{90}Sr sont de $0,6 \text{ Bq.m}^{-3}$ et celles en ^{238}Pu et ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) sont respectivement de $0,03$ et de $0,15 \text{ Bq.m}^{-3}$.

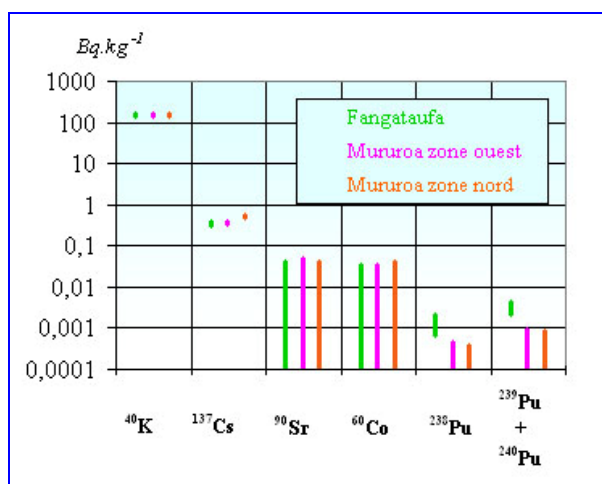


Figure IV.12. - Activité des eaux du lagon à Mururoa en 2010.

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 ⁻³) |
|-------------------|------------|--------------------------------|
| 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.

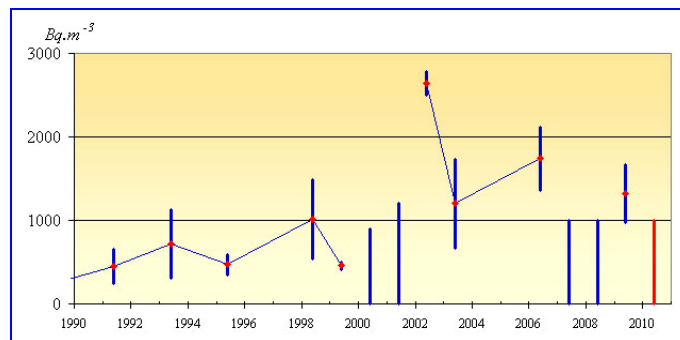


Figure IV.13. - Activité volumique HTO moyenne des eaux du lagon à Fangataufa depuis 1991.

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 ¹³⁷Cs des eaux du lagon à Fangataufa en 2010.

| Zones | Lieux | Activité (Bq.m ⁻³) |
|-------------------|------------|--------------------------------|
| 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 ¹³⁷Cs depuis 1989.

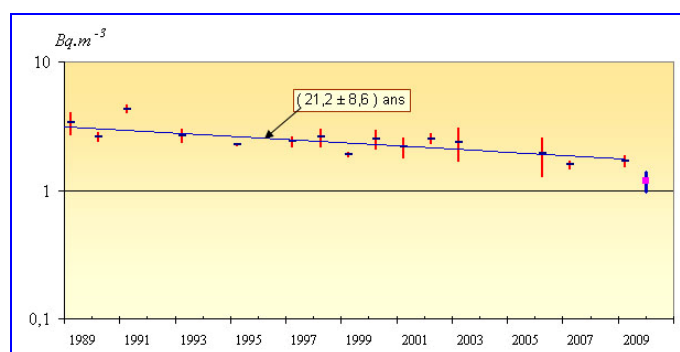


Figure IV.14. - Évolution de l'activité volumique moyenne en ^{137}Cs des eaux du lagon à Fangataufa depuis 1989.

L'activité en ^{137}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}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^{er} 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.

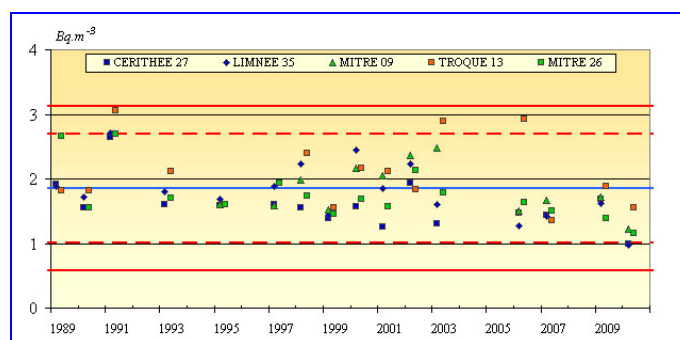


Figure IV.15. - Activité volumique en ^{137}Cs des eaux du lagon à Fangataufa depuis 1989. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

Strontium 90

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

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

| Zones | Lieux | Activité (Bq.m^{-3}) |
|-------------------|------------|---------------------------------|
| Pourtour du lagon | Cérithe 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}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}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.

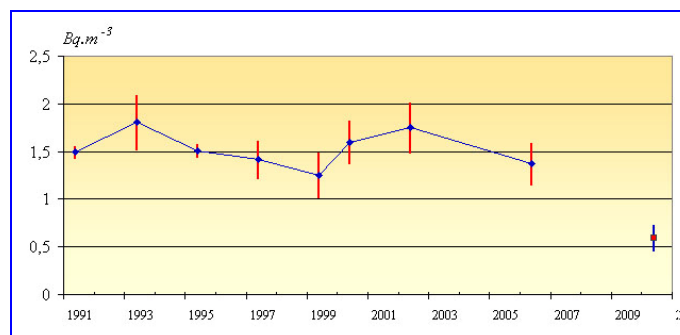


Figure IV.16. : Evolution de l'activité volumique moyenne en ^{90}Sr des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.

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.

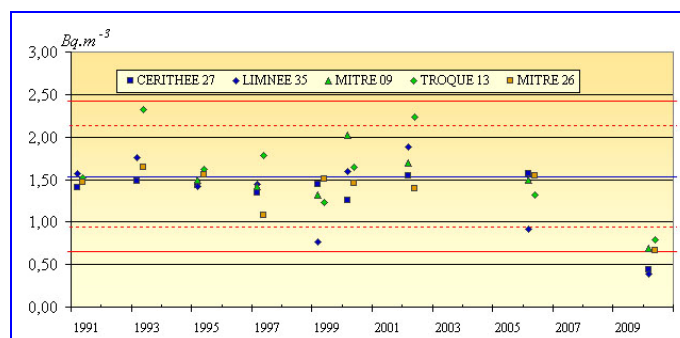


Figure IV.17. : Activité volumique en ^{90}Sr des eaux du lagon de Fangataufa depuis 1991.

Rapport Césium 137 / Strontium 90

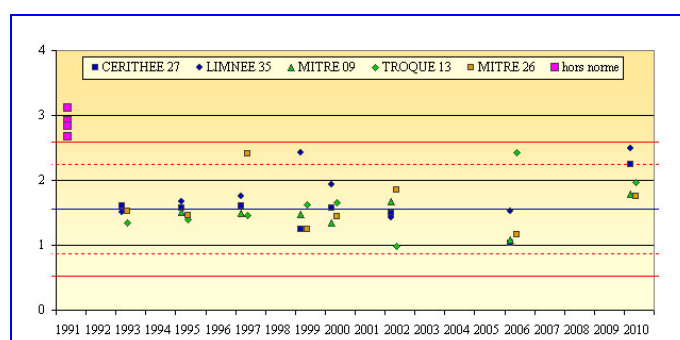
Dans les eaux océaniques, le rapport des activités $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ est stable, de l'ordre de 1,45. Les mesures dans l'eau du lagon de Fangataufa (Tableau IV.11.) donnent un rapport moyen de 1,45, légèrement plus important que les années précédentes et identiques pour les deux lagons (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 | Cérite 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}Pu et ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) dans les eaux du lagon de Fangataufa en 2010.

| Zones | Lieux | Activité (Bq.m^{-3}) | Activité (Bq.m^{-3}) | Rapport |
|-------------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|-------------|
| Pourtour du lagon | Cérite 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 Bq.m^{-3} en ^{238}Pu ,

0,25 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.

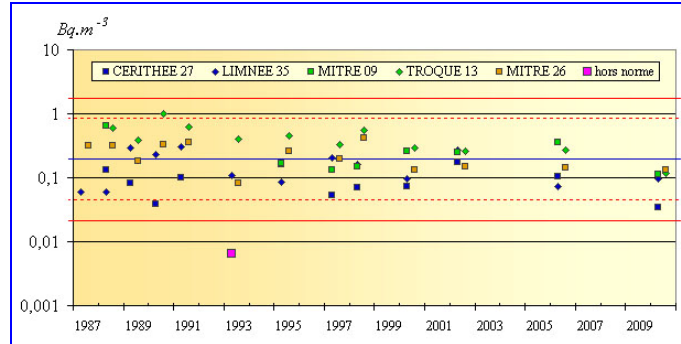


Figure IV.19. : Activité volumique en ^{238}Pu dans les eaux du lagon de Fangataufa depuis 1987.

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.

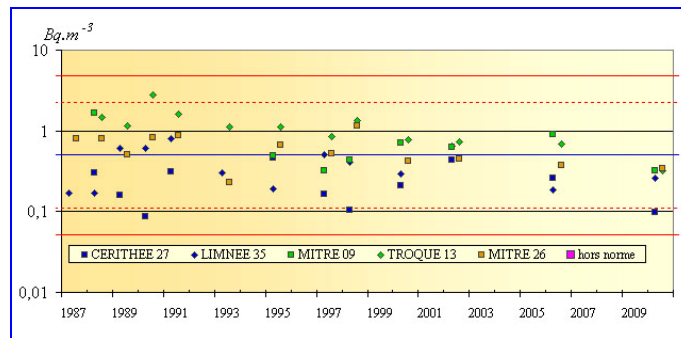


Figure IV.20. : Activité volumique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) dans les eaux du lagon de Fangataufa depuis 1987.

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.

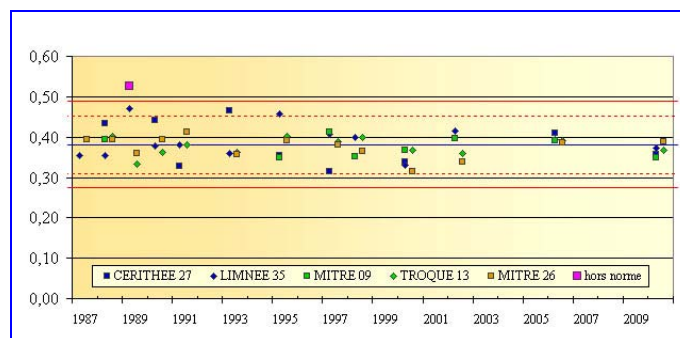


Figure IV.21.: Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) dans les eaux du lagon de Fangatafa depuis 1990.

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}Cs , ^{90}Sr , ^{238}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 $0,25 \text{ Bq.m}^{-3}$.

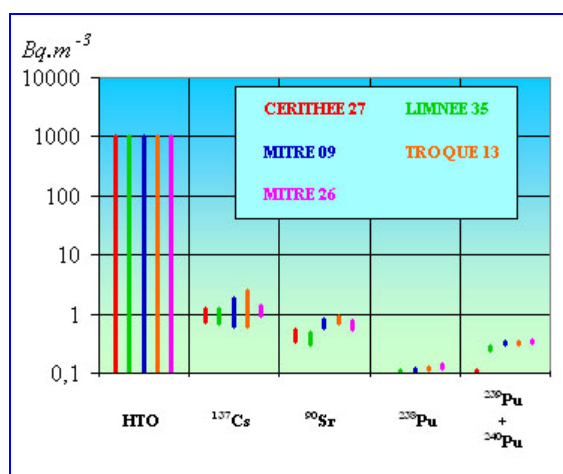


Figure IV.22. - Activité volumique des eaux du lagon à Fangatafa en 2010.

IV.2. - LES SEDIMENTS

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

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 Fangatafa 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}Sr n'est effectuée que si la valeur en ^{137}Cs est supérieure à 1 Bq.kg^{-1} ,
- les échantillons non-traités sont conservés en archive pour analyse éventuelle.

En 2003 et 2004, les prélèvements n'avaient pu être réalisés à Fangatafa en raison d'une avarie d'un des moteurs du REVI. En 2008, seule l'analyse γ a été réalisée à Mururoa ainsi qu'à Fangatafa.

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.

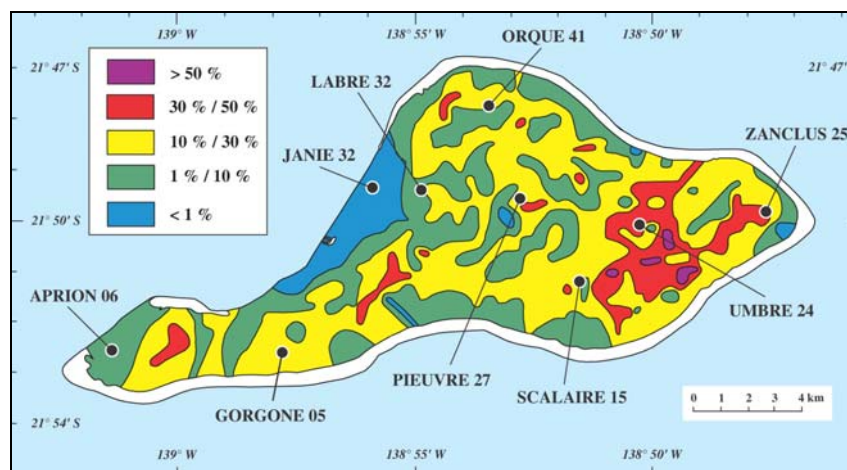


Figure IV.23. : Emplacements des prélèvements de sédiments dans le lagon de Mururoa et pourcentage de la fraction inférieure à 40 microns des sédiments de surface.

- 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.

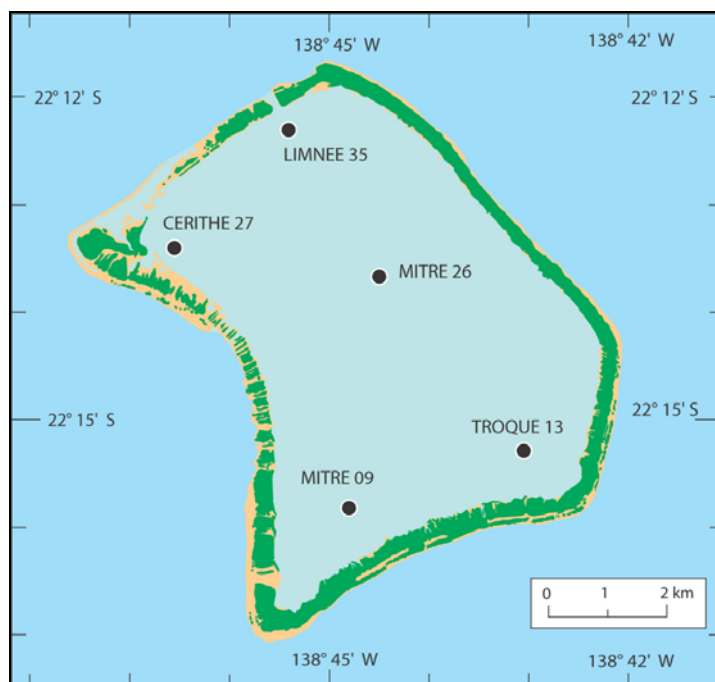


Figure IV.24. : Emplacements des prélèvements de sédiments dans le lagon de Fangataufa.

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

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

IV.2.2. - LES RESULTATS

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

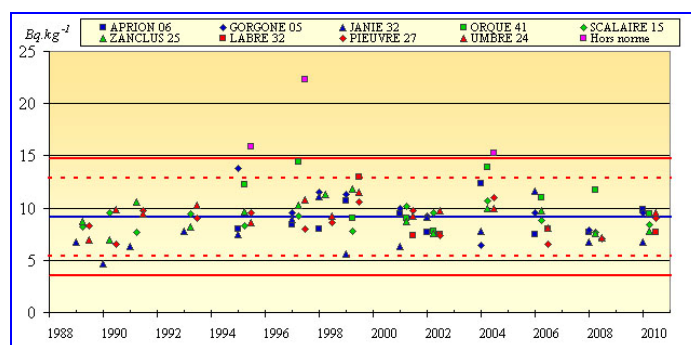
IV.2.2.1. - L'atoll de MURUROA***Radioactivité d'origine naturelle******Potassium 40***

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

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

| Zones | Lieux | Activité (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] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats (Fig. IV.25.). Les valeurs en 2010 qui varient entre 6,8 et 9,9 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

**Figure IV.25. : Evolution de l'activité massique en ^{40}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}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2010.

| Zones | Lieux | Activité (Bq.kg^{-1} échantillon sec) | | |
|-------------------|-------------|---|---|-------------------|
| | | ^{234}Th | ^{226}Ra (^{214}Pb) | ^{210}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}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb), émetteurs γ de la famille naturelle de l'uranium 238.

Depuis 1989, 97 échantillons ont été prélevés.

Pour le ^{234}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] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 22,8 et 33,3 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

L'activité du ^{226}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] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 1,5 et 34 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

L'activité des sédiments en ^{210}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] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 9,3 et 67 Bq.kg^{-1} sont comprises dans cet intervalle.

Un important fractionnement de la chaîne naturelle de l'uranium 238 est généralement observé dans les sédiments. Les résultats de mesure permettent de mettre en évidence une discontinuité de la chaîne, au niveau du ^{226}Ra ; les activités du ^{226}Ra sont, en général, près de 10 fois plus faibles que celles du ^{234}Th . Les écarts observés dans la filiation s'expliquent par des solubilités différentes des éléments constituant la famille naturelle. Dans l'eau de mer, l'uranium (^{238}U , ^{234}U) et le radium (^{226}Ra) sont solubles, alors que leurs descendants, thorium (^{234}Th , ^{230}Th) ou plomb (^{210}Pb), très peu solubles et très réactifs, sont très rapidement entraînés vers le fond du lagon par les particules microscopiques d'origine biologique.

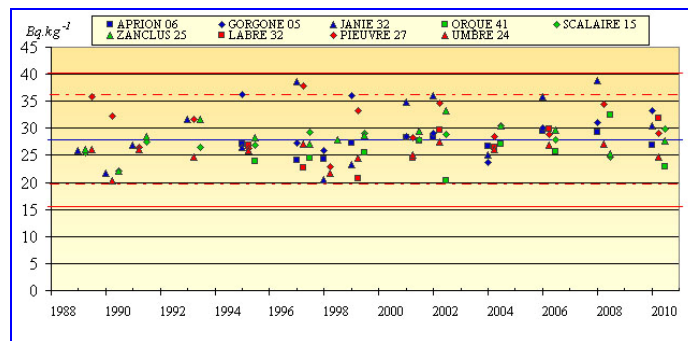


Figure IV.26. : Evolution de l'activité massique en ^{234}Th dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

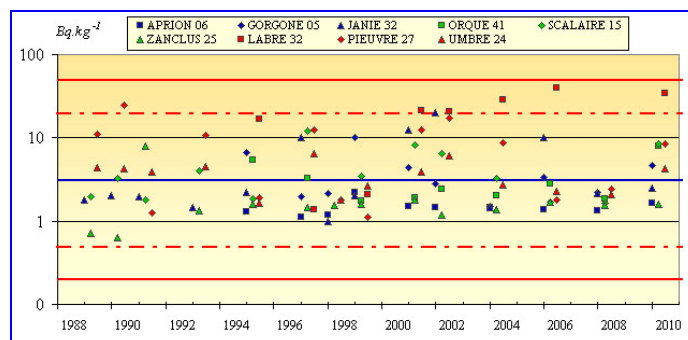


Figure IV.27. : Evolution de l'activité massique en ^{226}Ra dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

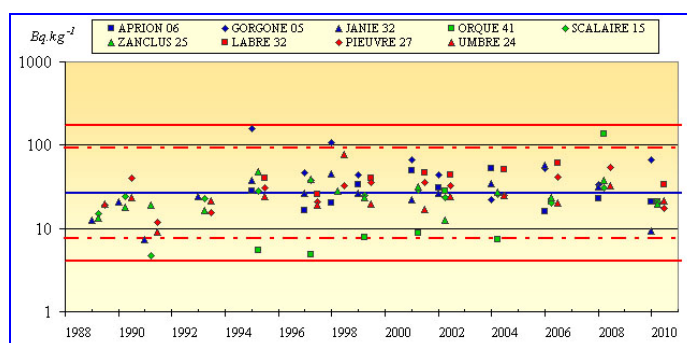


Figure IV.28. : Evolution de l'activité massique en ^{210}Pb dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

Uranium 235

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

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

| Zones | Lieux | Activité (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}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.

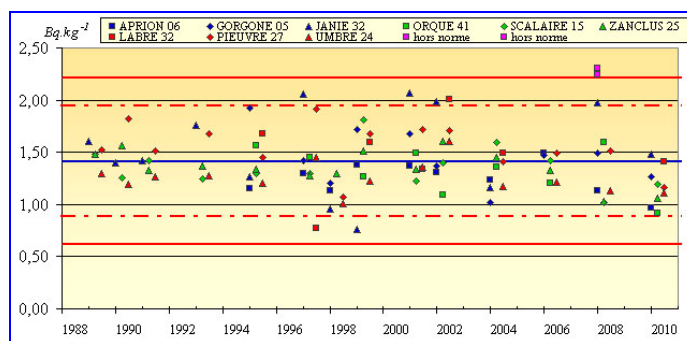


Figure IV.29. : Evolution de l'activité massique en ^{235}U dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

Rapport Thorium 234 sur Uranium 235

Les activités massiques mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le ^{234}Th (Tableau IV.18.). On peut en conclure qu'il y a un équilibre radioactif entre ^{238}U et son descendant ^{234}Th dans les sédiments, puisque le rapport 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 |

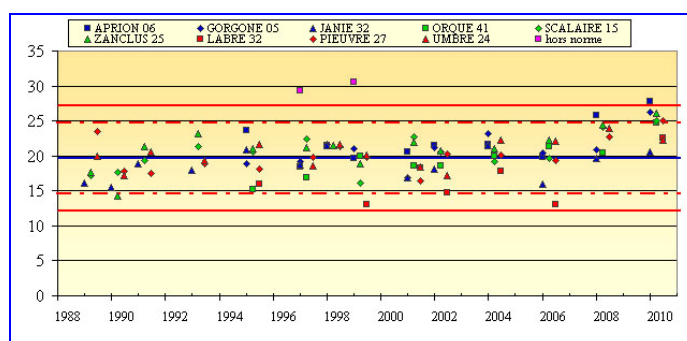


Figure IV.30. : Rapport en activité ($^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$) des sédiments du lagon de Mururoa depuis 1989.

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] 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 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}Th n'a pas pu être détectée. Comme les années précédentes, aucun résultat significatif n'a été obtenu cette année pour la mesure de la radioactivité en ^{228}Ac , radionucléide émetteur γ faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th (Tableau IV.19.).

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

| Zones | Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ 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⁻¹) en ^{60}Co , ^{125}Sb , ^{137}Cs et ^{155}Eu dans les sédiments du lagon de Mururoa pour 2010.

| Zones | Lieux | ^{60}Co (Bq.kg ⁻¹ sec) | ^{125}Sb (Bq.kg ⁻¹ sec) | ^{137}Cs (Bq.kg ⁻¹ sec) | ^{155}Eu (Bq.kg ⁻¹ 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}Co , ^{125}Sb et ^{137}Cs a donné des résultats inférieurs ou proches des limites de détection. Les valeurs ^{155}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}Cs étant inférieure à 1 Bq.kg⁻¹, aucune analyse ^{90}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}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}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.

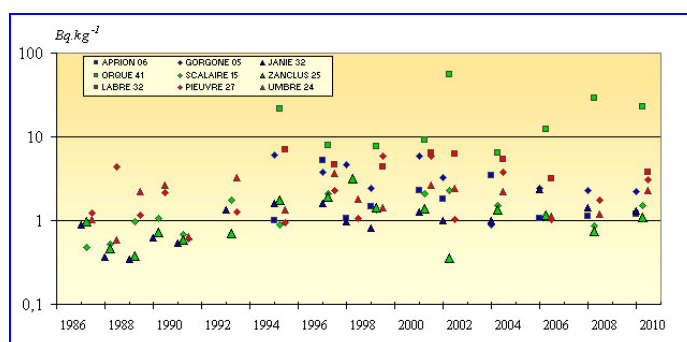


Figure IV.31. : Evolution de l'activité massique en ^{241}Am dans les sédiments du lagon à Mururoa depuis 1988.

Les isotopes du plutonium

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

Tableau IV.22. : Activité massique en ^{238}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}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 ± 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}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).

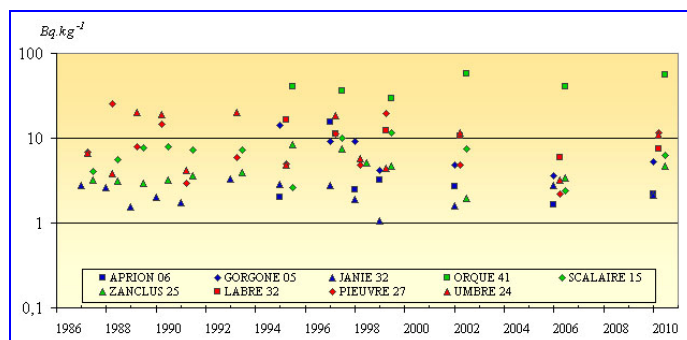


Figure IV.32. : Activité massique en ^{238}Pu dans les sédiments de surface du lagon de Mururoa depuis 1987.

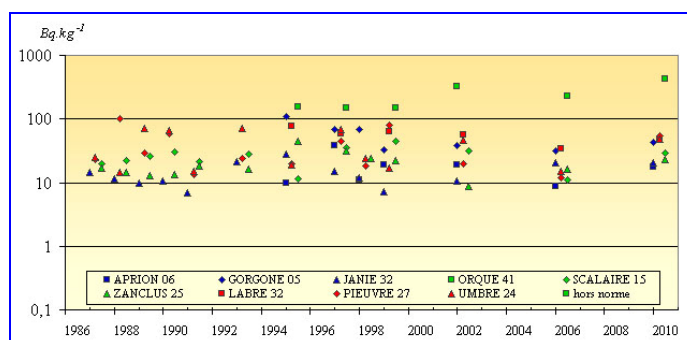


Figure IV.33. : Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) dans les sédiments de surface du lagon de Mururoa depuis 1987.

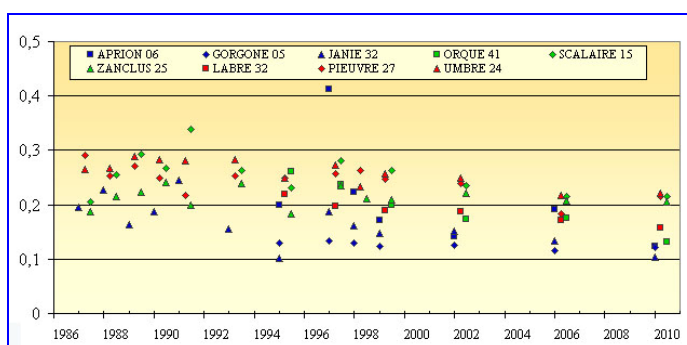


Figure IV.34. : Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) dans les sédiments du lagon de Mururoa depuis 1987.

Récapitulatif

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

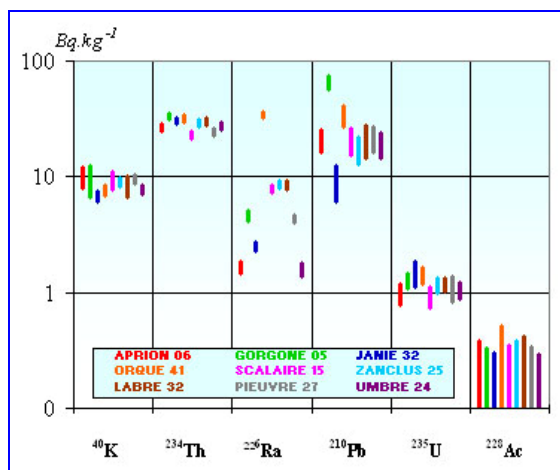


Figure IV.35. : Activité naturelle dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2010.

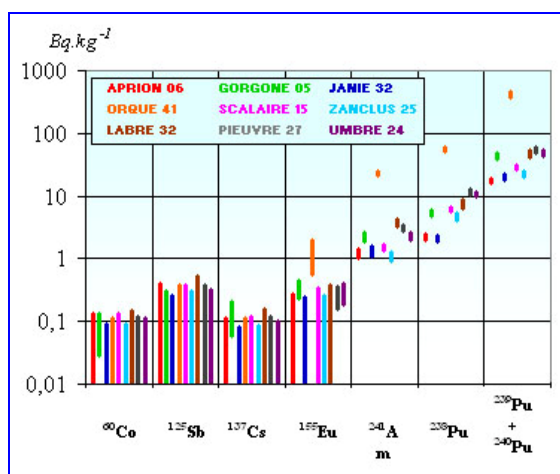


Figure IV.36. : Activité artificielle dans les sédiments du lagon de Mururoa en 2010.

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}K dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

| Zones | Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ sec) |
|-------------------|------------|------------------------------------|
| Pourtour du lagon | Cérithé 27 | 7,7 ± 0,8 |
| | Limnée 35 | 7,9 ± 0,8 |
| | Mitre 09 | 5,5 ± 1,4 |
| | Troque 13 | 5,3 ± 1,4 |
| Centre du lagon | Mitre 26 | 8,1 ± 0,9 |
| Moyenne | | 6,9 ± 0,9 |

La figure IV.37. présente l'évolution de l'activité en ^{40}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.

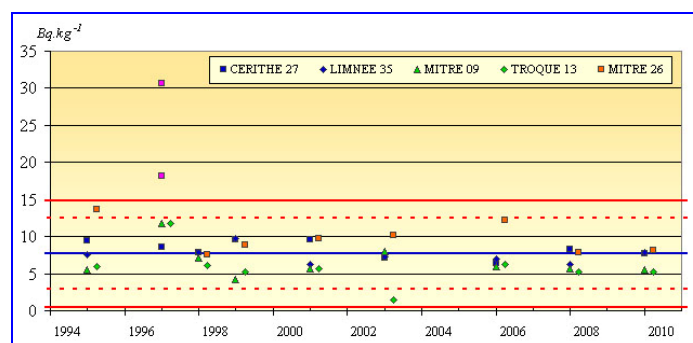


Figure IV.37. : Evolution de l'activité massique en ^{40}K dans les sédiments du lagon à Fangataufa depuis 1995.

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}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

| Zones | Lieux | Activité (Bq.kg^{-1} échantillon sec) | | |
|-------------------|------------|---|---|-------------------|
| | | ^{234}Th | ^{226}Ra (^{214}Pb) | ^{210}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 | | $35 \pm 1,9$ | 2,3 * | 9,9 * |

* *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}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb), émetteurs γ de la famille naturelle de l'uranium 238.

Pour le ^{234}Th , la moyenne calculée est de $35,5 \pm 1,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$ 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}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}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⁻¹ traduit la dispersion des résultats. Les valeurs de 2010 qui varient entre 4 et 36,2 Bq.kg⁻¹ sont comprises dans cet intervalle.

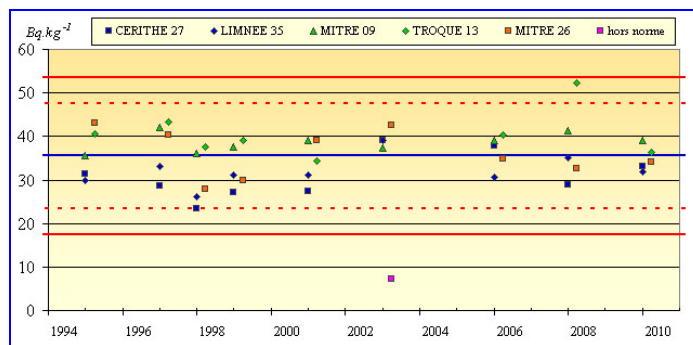


Figure IV.38. : Evolution de l'activité massique en ²³⁴Th dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

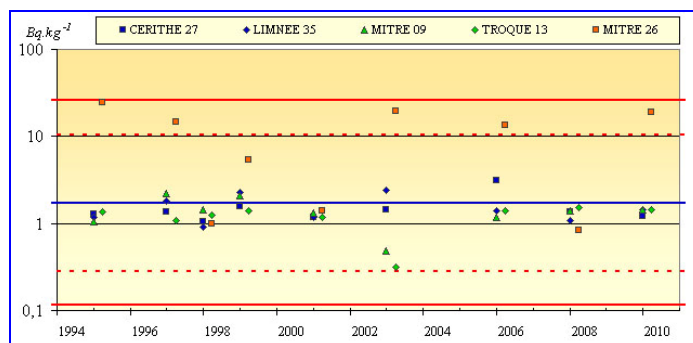


Figure IV.39. : Evolution de l'activité massique en ²²⁶Ra dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

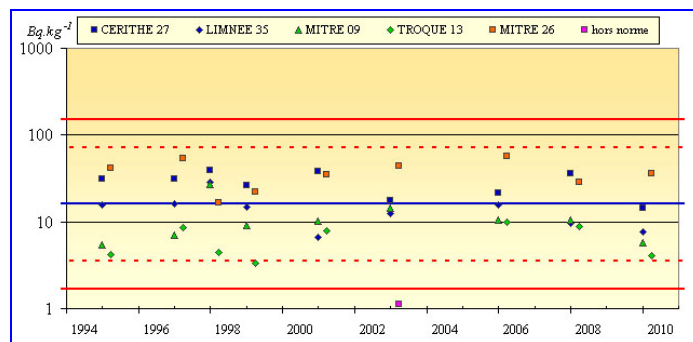


Figure IV.40. : Evolution de l'activité massique en ²¹⁰Pb dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

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 ²²⁶Ra ; les activités du ²²⁶Ra sont, en général, près de 10 fois plus faibles que celles du ²³⁴Th. 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 (²³⁸U, ²³⁴U) et le radium (²²⁶Ra) sont solubles, alors que leurs descendants thorium (²³⁴Th, ²³⁰Th) ou plomb (²¹⁰Pb), 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}U dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

| Zones | Lieux | Activité (Bq.kg^{-1} échantillon sec) |
|-------------------|-----------|--|
| Pourtour du lagon | Cérite 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}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 Bq.kg^{-1} , sont comprises dans cet intervalle.

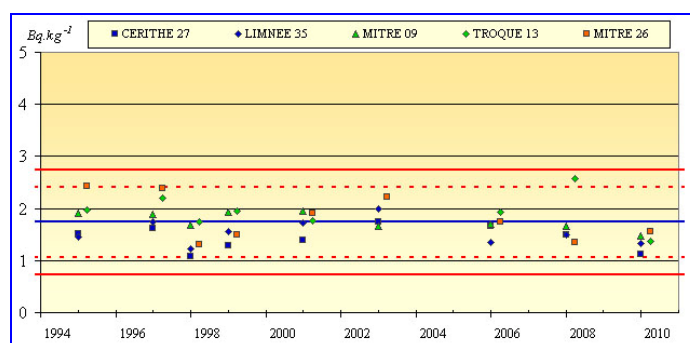


Figure IV.41. : Evolution de l'activité massique en ^{235}U dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Les activités mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le ^{234}Th (Tableau IV.26.). On peut en conclure qu'il y a un équilibre radioactif entre ^{238}U et son descendant ^{234}Th dans les sédiments, puisque le rapport des activités $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ 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 | Cérite 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 | | $25,8 \pm 1,9$ |

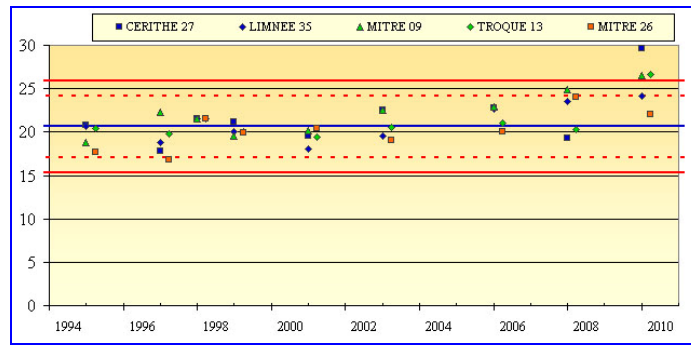


Figure IV.42. : Rapport en activité ($^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$) des sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

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}Th n'a pas pu être détectée. Comme les années précédentes, aucun résultat significatif n'a été obtenu cette année pour la mesure de la radioactivité en ^{228}Ac , radionucléide émetteur γ faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th (Tableau IV.27.).

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

| Zones | Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ 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}Co , ^{125}Sb , ^{137}Cs et ^{155}Eu dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

| Zones | Lieux | ^{60}Co (Bq.kg ⁻¹ sec) | ^{125}Sb (Bq.kg ⁻¹ sec) | ^{137}Cs (Bq.kg ⁻¹ sec) | ^{155}Eu (Bq.kg ⁻¹ 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}Co , ^{125}Sb , ^{137}Cs et ^{155}Eu n'a pas donné de résultats significatifs (résultats inférieurs ou proches des limites de détection).

Strontium 90

Les mesures en ^{137}Cs étant inférieure à 1 Bq.kg⁻¹, aucune analyse ^{90}Sr n'a été effectuée sur les prélèvements de sédiments.

Américium 241

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

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

| Zones | Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹) |
|-------------------|------------|---------------------------------|
| 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}Am depuis 1995.

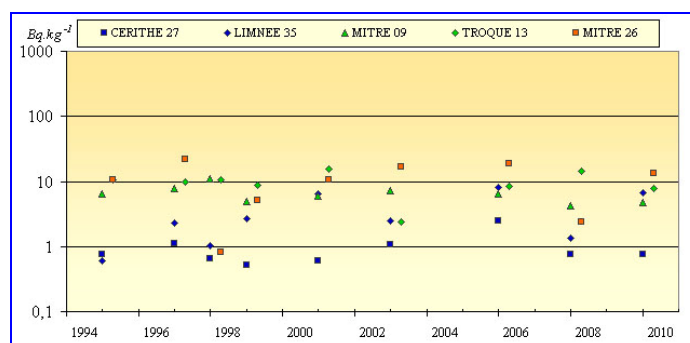


Figure IV.43. : Evolution de l'activité massique en ^{241}Am dans les sédiments du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Isotopes du plutonium

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

Tableau IV.30. : Activité massique en ^{238}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 ⁻¹ sec) | | $^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$ |
|-------------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|
| | | ^{238}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}Pu et en $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ depuis 1995.

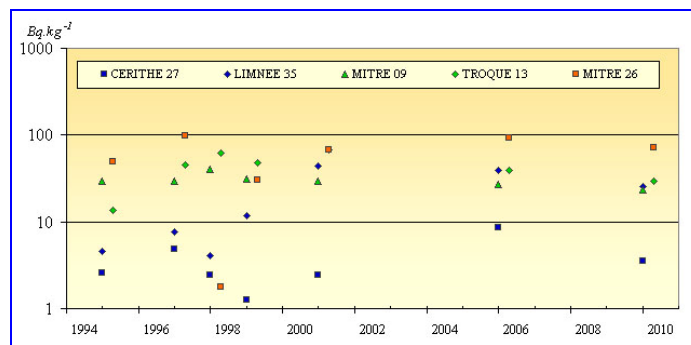


Figure IV.44. : Activité massique en ^{238}Pu dans les sédiments de surface du lagon de Fangataufa depuis 1995.

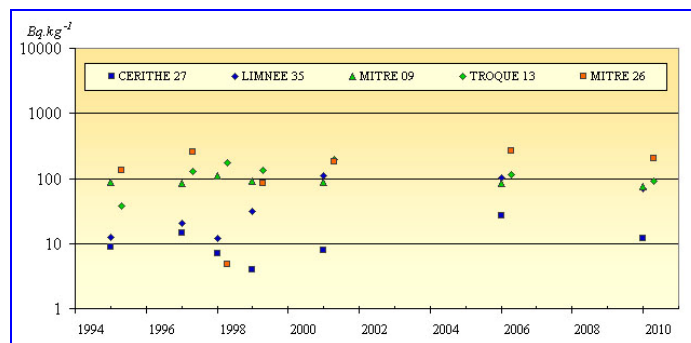


Figure IV.45. : Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) dans les sédiments de surface du lagon de Fangataufa depuis 1995.

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).

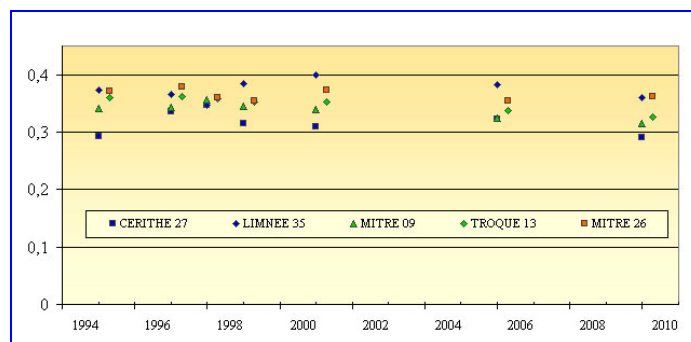


Figure IV.46. : Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) dans les sédiments de surface du lagon de Fangataufa depuis 1995.

Récapitulatif

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

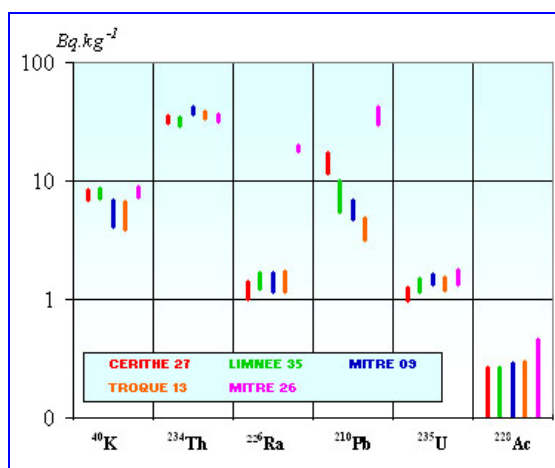


Figure IV.47. : Activité naturelle dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

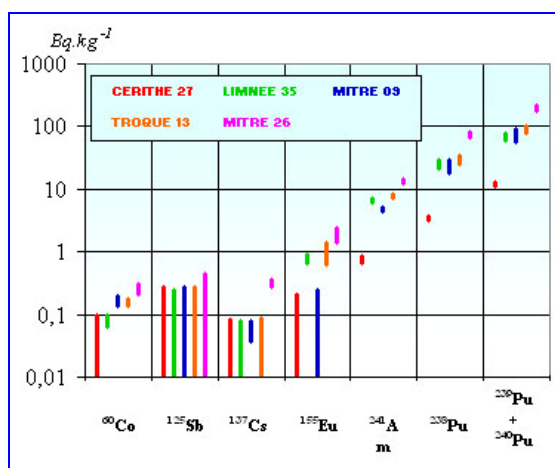


Figure IV.48. : Activité artificielle dans les sédiments du lagon de Fangataufa pour 2010.

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 γ . 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 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⁻¹) du plancton du lagon de Mururoa et de Fangataufa en 2010.

| Lieux | Date | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | ¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹) | ⁶⁰ Co (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁸ Pu (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.kg ⁻¹) |
|------------|------------|---|---|--|---|---|
| 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 |

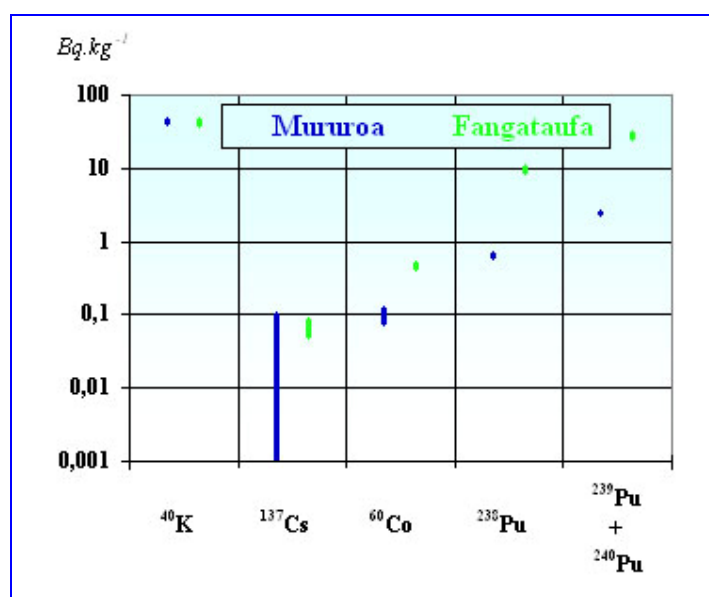


Figure IV.49. - Activité massique du plancton du lagon de Mururoa et de Fangataufa en 2010.

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⁻¹. La radioactivité ⁴⁰K 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⁻¹). Les résultats en césium 137 étant inférieur à 1 Bq.kg⁻¹, le strontium 90 n'a pas été analysé.

Cobalt 60

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

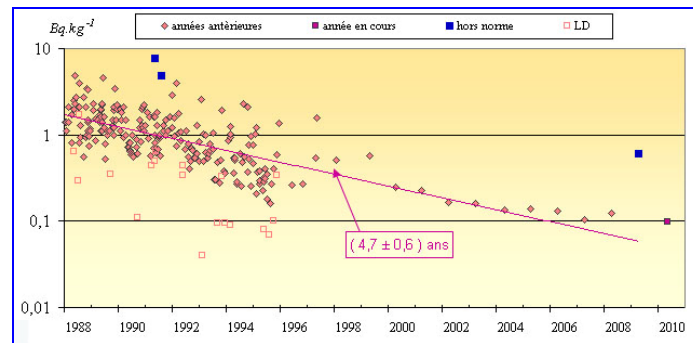


Figure IV.50. : Évolution de l'activité massique en ^{60}Co du plancton des lagons de Mururoa depuis 1988.

A Mururoa, l'activité en ^{60}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^{er} 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.

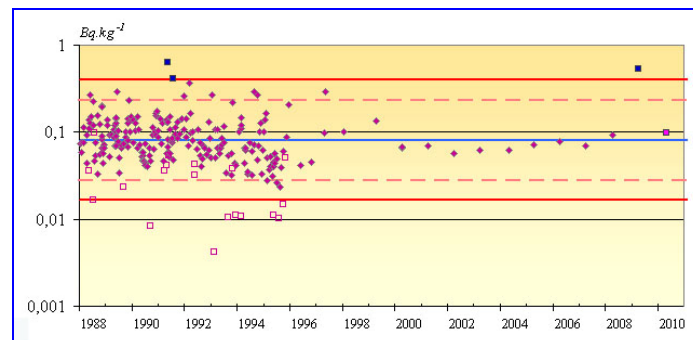


Figure IV.51. - Activité massique en ^{60}Co du plancton du lagon à Mururoa. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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^{er} 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).

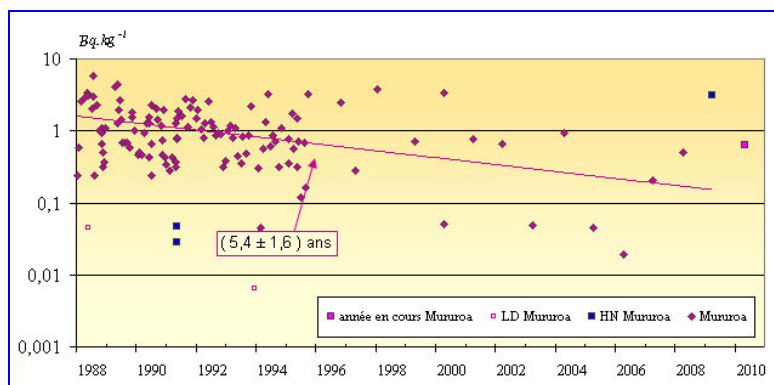


Figure IV.52. - Évolution de l'activité massique en ^{238}Pu du plancton du lagon à Mururoa.

À l'aide de cette période, les valeurs sont ramenées au 1^{er} 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.

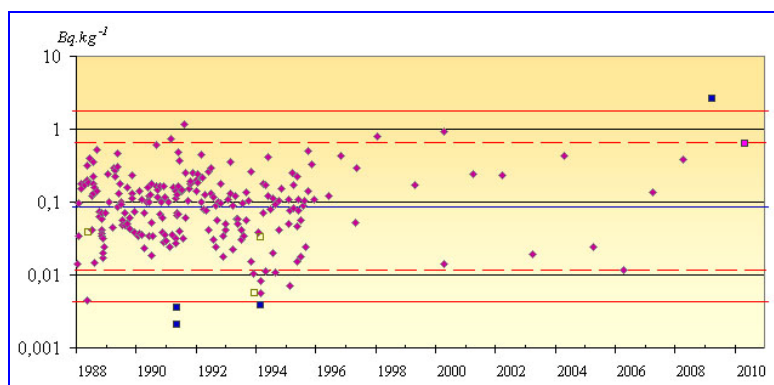


Figure IV.53. - Activité massique en ^{238}Pu du plancton du lagon à Mururoa. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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.

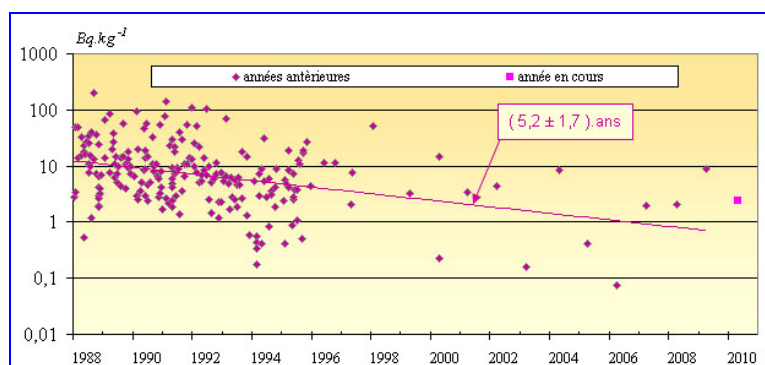


Figure IV.54. - Évolution de l'activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) du plancton du lagon à Mururoa.

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

0,63 Bq.kg⁻¹. 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⁻¹) est comprise dans cet intervalle.

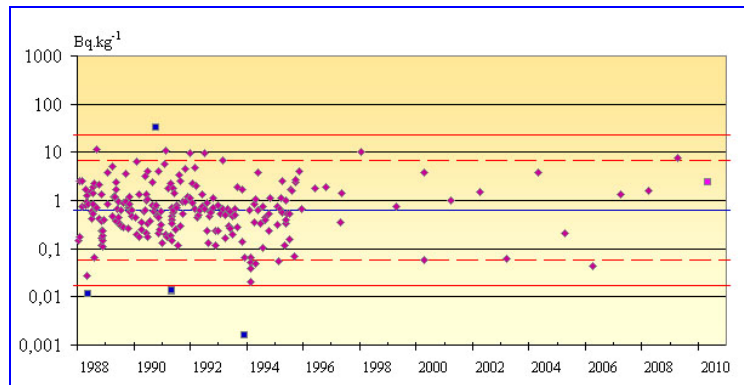


Figure IV.55. - Activité des (²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu) du plancton du lagon à Mururoa (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

Rapport plutonium 238 / plutonium 239 + plutonium 240

La valeur calculée en 2010 est de $0,26 \pm 0,02$.

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 $0,18 \pm 0,05$. 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.

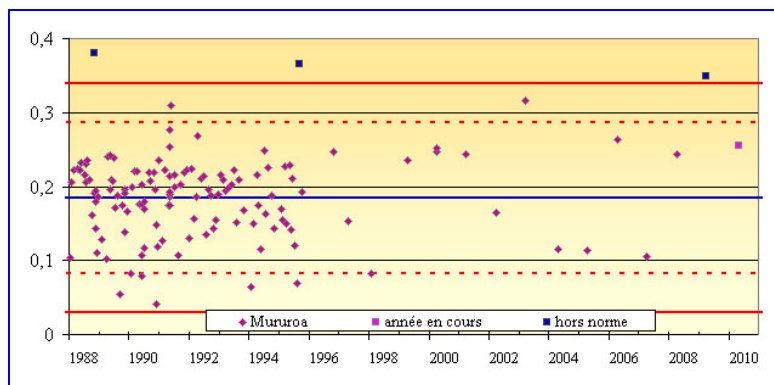


Figure IV.56. - Rapport en activité (²³⁸Pu / (²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu)) du plancton du lagon à Mururoa en zone Est et Sud.

IV.3.2.2. - L'atoll de Fangataufa

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137 et strontium 90

L'activité en ¹³⁷Cs du plancton de lagon de Fangataufa reste, comme les années précédentes, au niveau des limites de détection (de 0,01 à 0,1 Bq.kg⁻¹). Les résultats en césium 137 étant inférieur à 1 Bq.kg⁻¹, le strontium 90 n'a pas été analysé.

Cobalt 60

La figure IV.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).

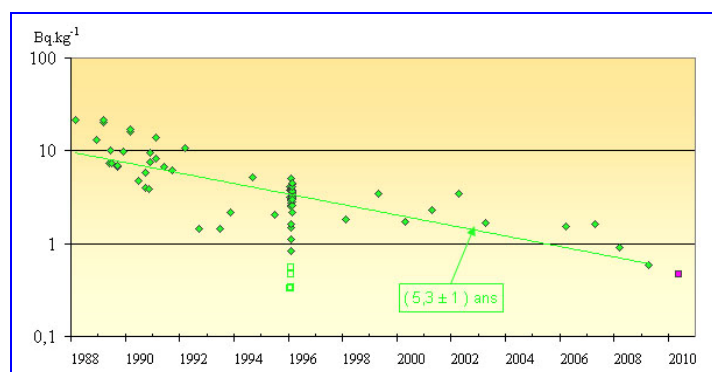


Figure IV.57. - Évolution de l'activité massique en ^{60}Co du plancton du lagon de Fangataufa depuis 1988.

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^{er} 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.

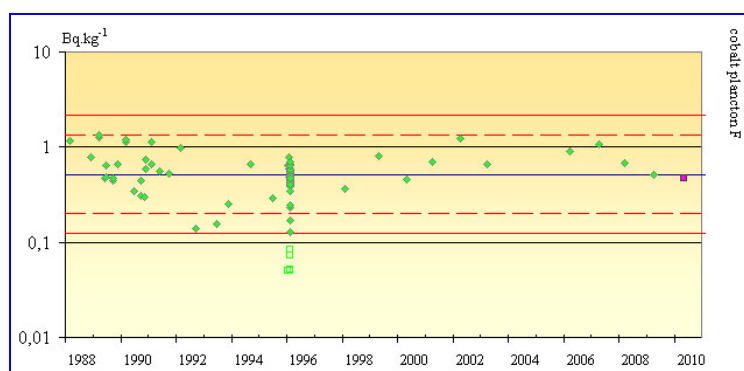


Figure IV.58. - Activité massique en ^{60}Co du plancton du lagon à Fangataufa. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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^{er} 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.

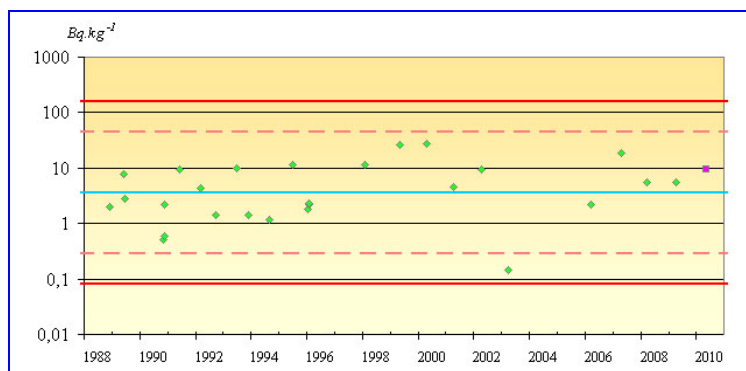


Figure IV.59. - Activité massique en ^{238}Pu du plancton du lagon à Fangataufa. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

Plutonium 239 + plutonium 240

Sur les 26 échantillons prélevés depuis 1988, la moyenne géométrique est de 11 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 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

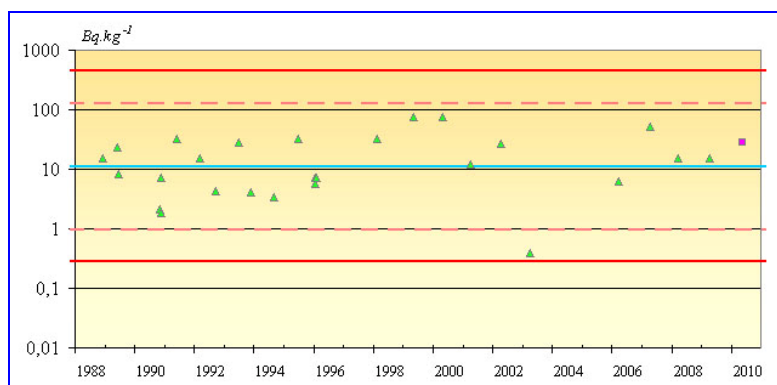


Figure IV.60. - Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) du plancton du lagon à Fangataufa (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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.

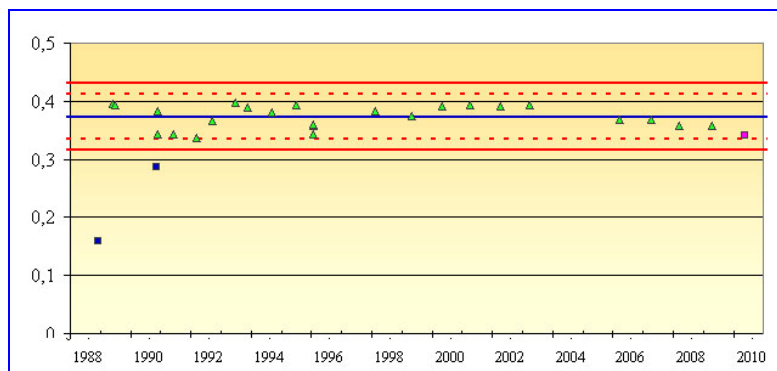


Figure IV.61. - Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) du plancton du lagon à Fangataufa depuis 1988.

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 γ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.



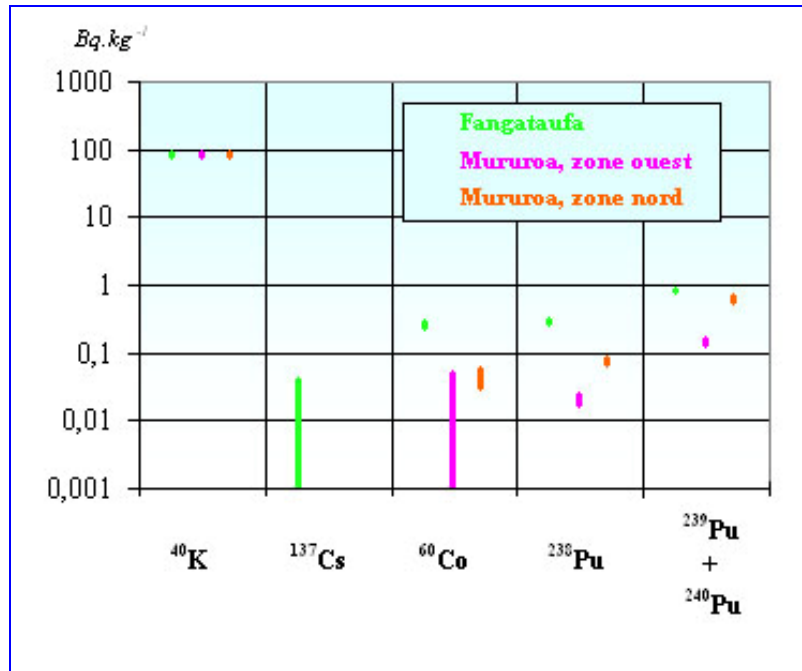
Troca (*Trochus niloticus*) dans son habitat.

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⁻¹) de la chair du troca en 2010.

| Localisation | Date | ⁴⁰ K | ¹³⁷ Cs | ⁶⁰ Co | ²³⁸ Pu | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ 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⁻¹. La radioactivité en ⁴⁰K 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⁻¹). Les valeurs mesurées en césium 137 étant inférieures à 0,5 Bq.kg⁻¹, 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).

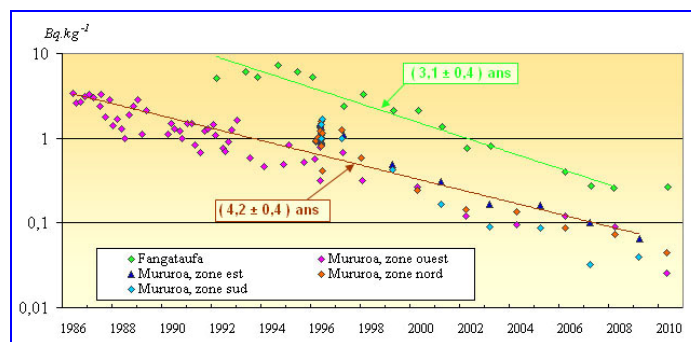


Figure IV.63. - Évolution de l'activité massique en ^{60}Co de la chair du troca à Mururoa et à Fangataufa depuis 1986.

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.

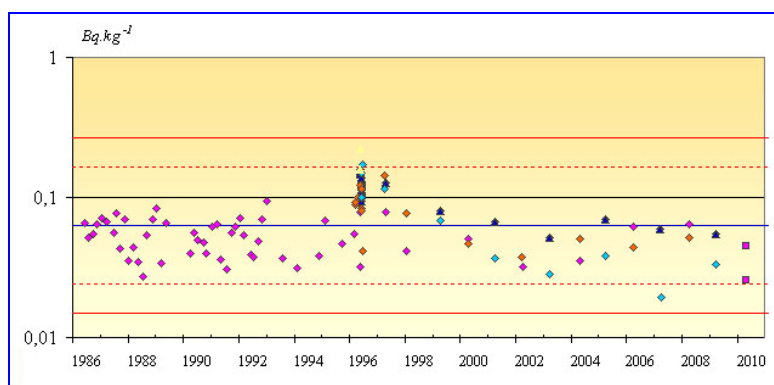


Figure IV.64. - Activité massique en ^{60}Co de la chair du troca à Mururoa depuis 1986. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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.

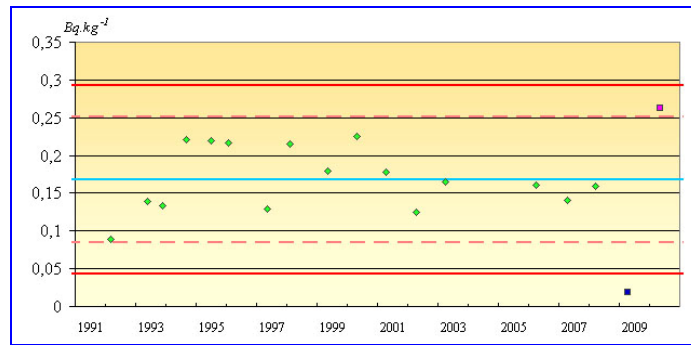


Figure IV.65. - Activité massique en ^{60}Co de la chair du troca à Fangataufa depuis 1992. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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).

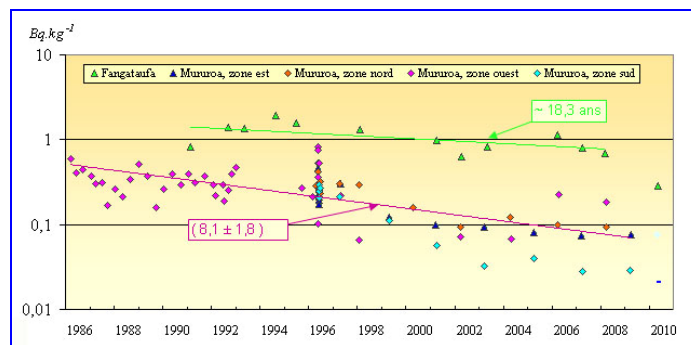


Figure IV.66. - Évolution de l'activité massique en ^{238}Pu de la chair du troca depuis 1986.

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.

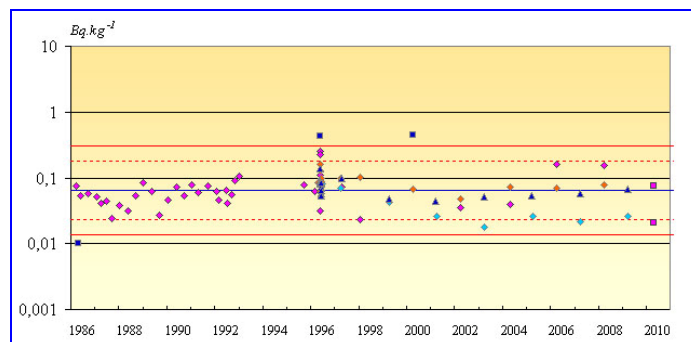


Figure IV.67. - Activité massique en ^{238}Pu de la chair du troca à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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 % [$0,16 ; 2,5$] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des valeurs (Figure IV.68.). La valeur 2010 ($0,29 \text{ Bq.kg}^{-1}$) est dans cet intervalle.

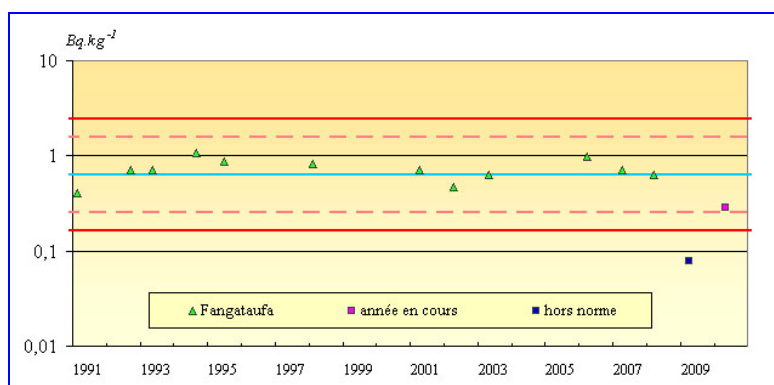


Figure IV.68. - Activité massique en ^{238}Pu de la chair du troca à Fangataufa depuis 1991. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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).

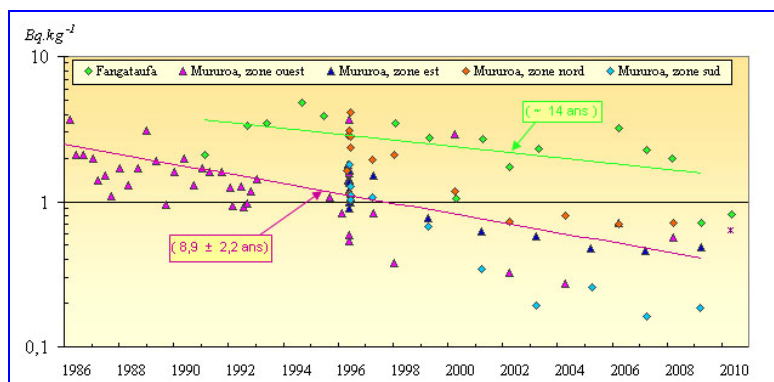


Figure IV.69. - Évolution de l'activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) de la chair du troca depuis 1986.

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 % [$0,05 ; 2$] 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.

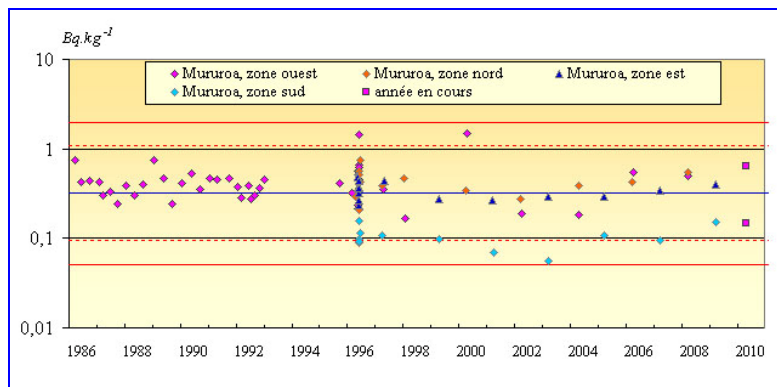


Figure IV.70. - Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) de la chair du troca à Mururoa depuis 1996. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010)

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.

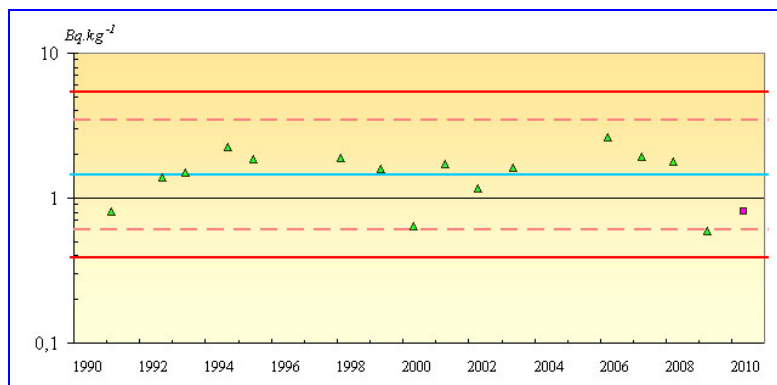


Figure IV.71. - Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) de la chair du troca à Fangataufa depuis 1991. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010)

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.

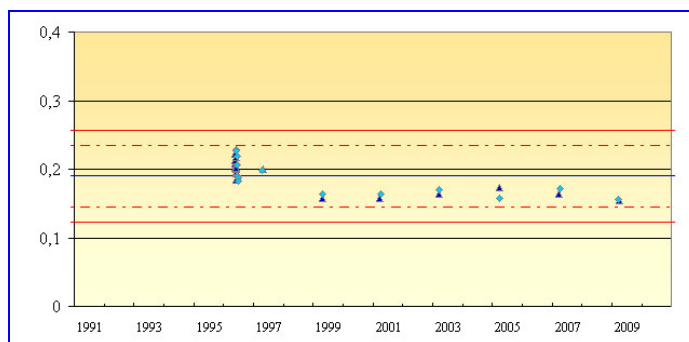


Figure IV.72. - Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) de la chair du troca pour les zones Est et Sud de Mururoa.

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.

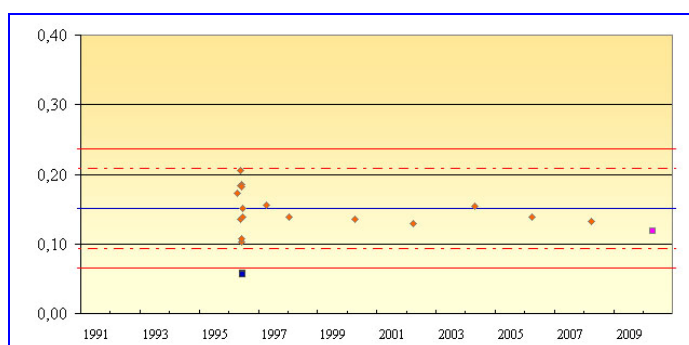


Figure IV.73. - Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) de la chair du troca en zone Nord de Mururoa.

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.

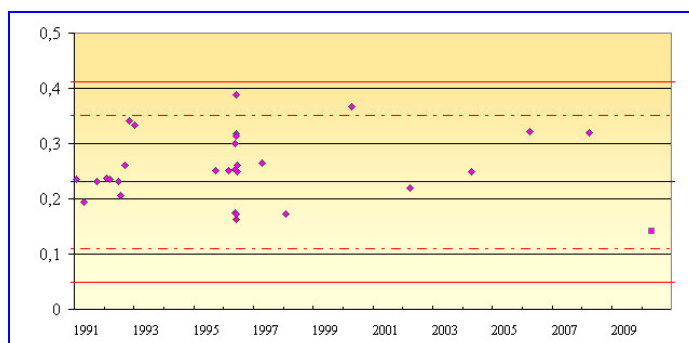


Figure IV.74. - Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) de la chair due troca en zone Ouest de Mururoa.

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.

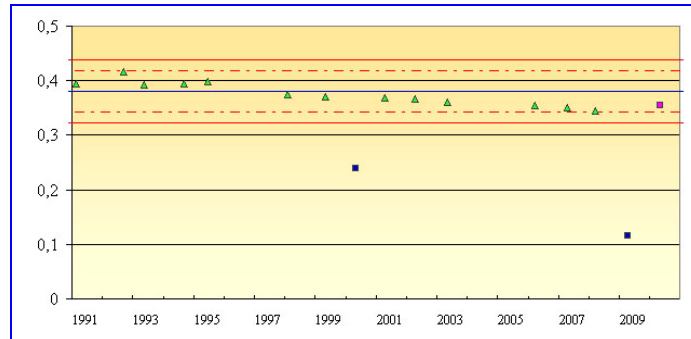


Figure IV.75. - Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) de la chair du troca à Fangataufa depuis 1991.

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 méro 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 γ . 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⁻¹) du chirurgien éviscéré, mesurée en 2010.

| Localisation | Date | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | ¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹) | ⁶⁰ Co (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁸ Pu (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.kg ⁻¹) |
|--------------------|------------|---|---|--|---|---|
| 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 |

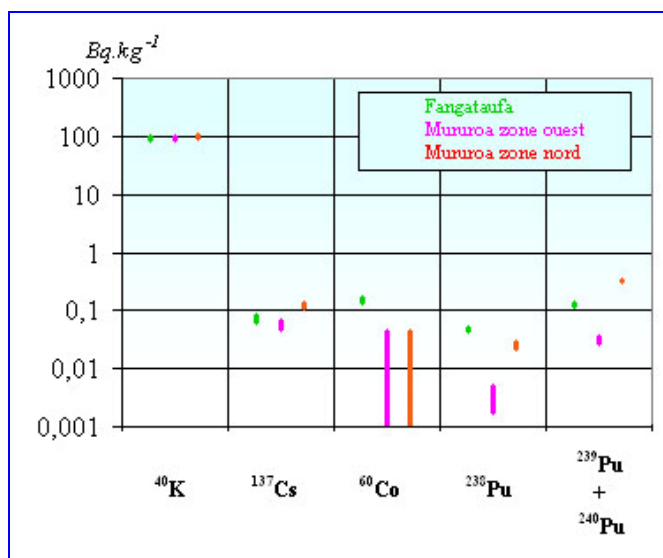


Figure IV.76. - Activité massique du chirurgien éviscéré mesurée en 2010.

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⁻¹, 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⁻¹ 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 ± 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).

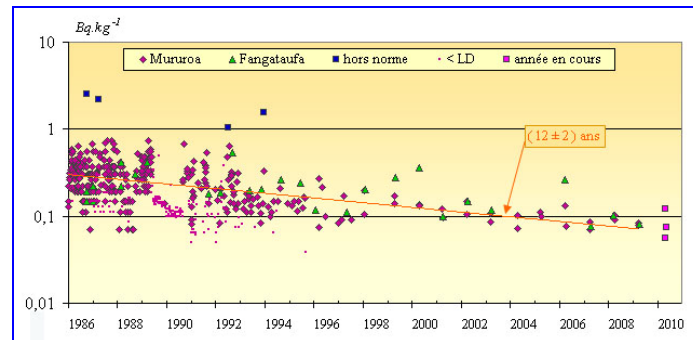


Figure IV.77. - Évolution de l'activité massique en ¹³⁷Cs du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986.

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^{er} 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⁻¹. L'intervalle de probabilité 99,7% [0,02 ; 0,3] traduit la dispersion des valeurs. Les valeurs 2010 sont comprises dans cet intervalle.

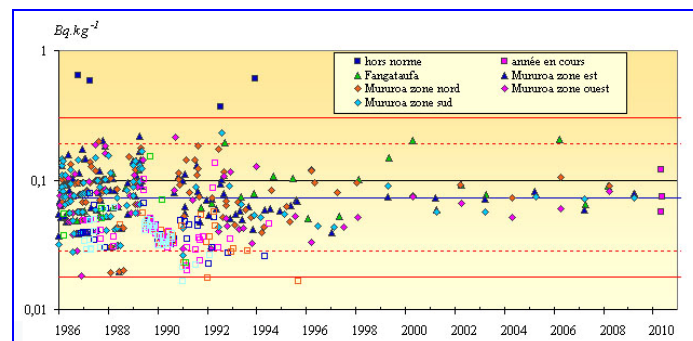


Figure IV.78. - Activité massique en ¹³⁷Cs du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

Strontium 90

L'activité en césium 137 du chirurgien éviscéré étant inférieure à 0,5 Bq.kg⁻¹, 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).

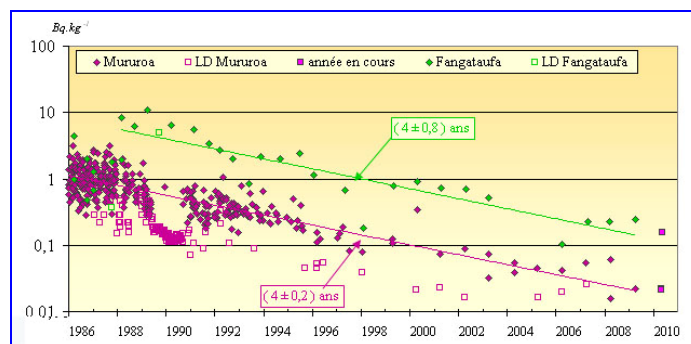


Figure IV.79. - Évolution de l'activité massique en ^{60}Co du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986.

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^{er} 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.

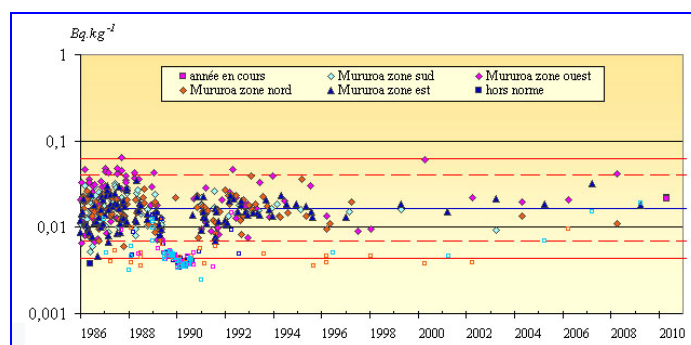


Figure IV.80. - Activité massique en ^{60}Co du chirurgien éviscéré à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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^{er} 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.

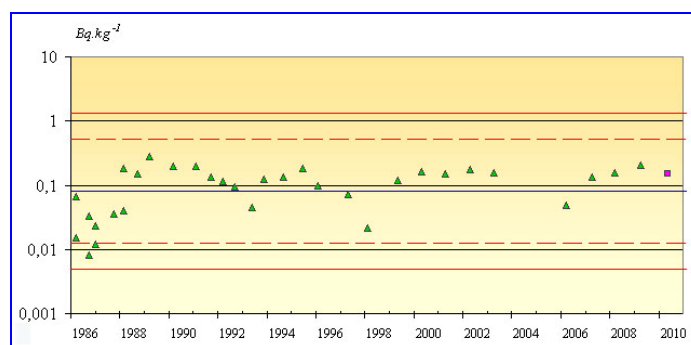


Figure IV.81. - Activité massique en ^{60}Co du chirurgien éviscéré à Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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.

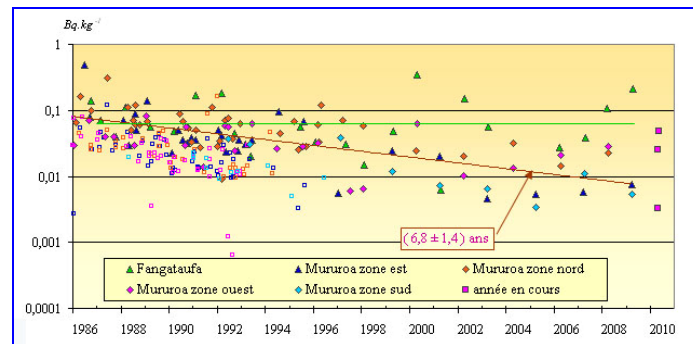


Figure IV.82. - Évolution de l'activité massique en ^{238}Pu du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986.

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^{er} 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.

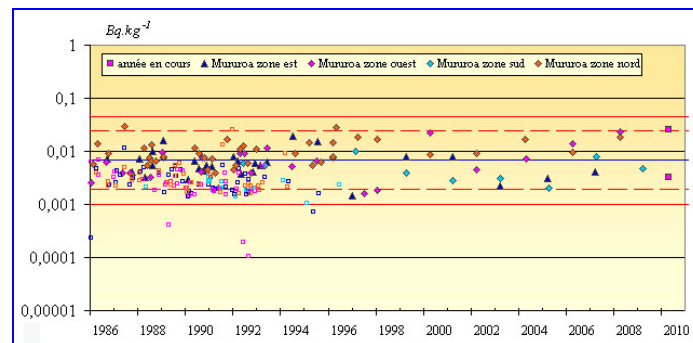


Figure IV.83. - Activité massique en ^{238}Pu du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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^{er} 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.

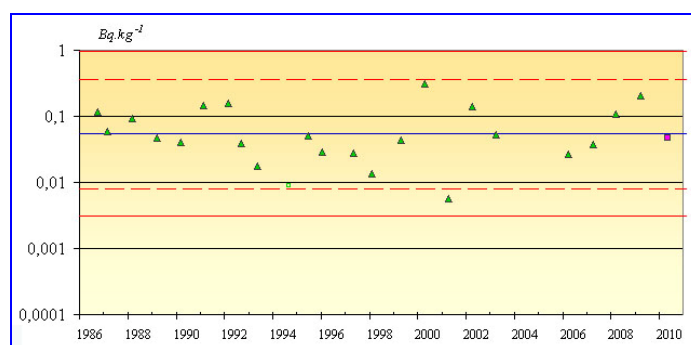


Figure IV.84. - Activité massique en ^{238}Pu du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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.

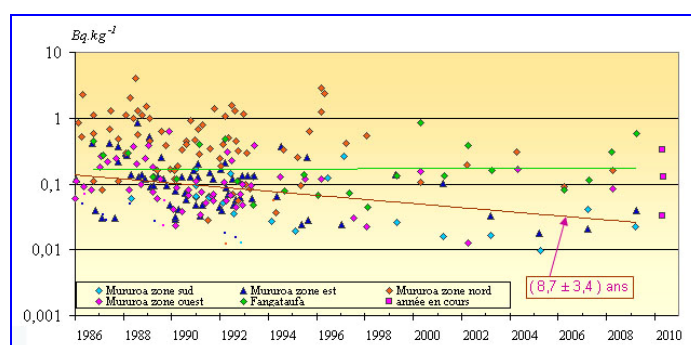


Figure IV.85. - Évolution de l'activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) du chirurgien éviscéré à Mururoa et Fangataufa depuis 1986.

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^{er} mai 2010. L'activité moyenne en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) est de $0,021 \text{ Bq.kg}^{-1}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % $[0,002 ; 0,22] \text{ Bq.kg}^{-1}$ traduit la dispersion des résultats (Figure IV.86.). La valeur 2010 (0,033) est comprise dans cet intervalle.

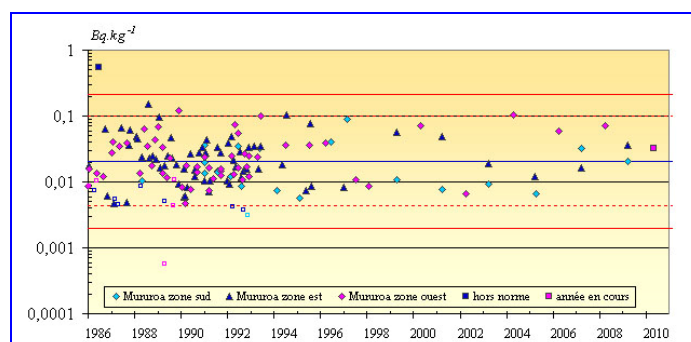


Figure IV.86. - Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) du chirurgien éviscéré à Mururoa depuis 1986.

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.

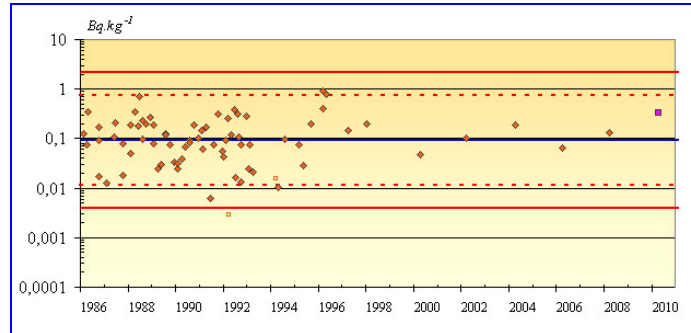


Figure IV.87. - Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) du chirurgien éviscéré à Mururoa en zone nord depuis 1986.

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.

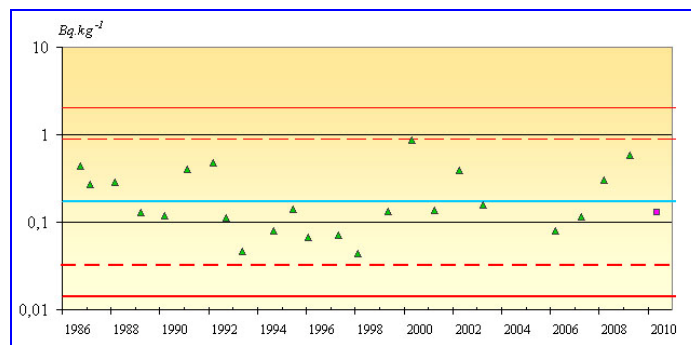


Figure IV.88. - Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) du chirurgien éviscéré à Fangataufa depuis 1986.

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.

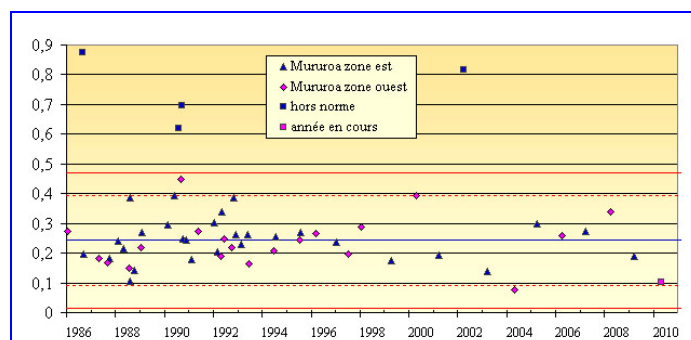


Figure IV.89. - Rapport des activités ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) du chirurgien éviscéré (zones Est et Ouest de Mururoa) depuis 1986.

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.

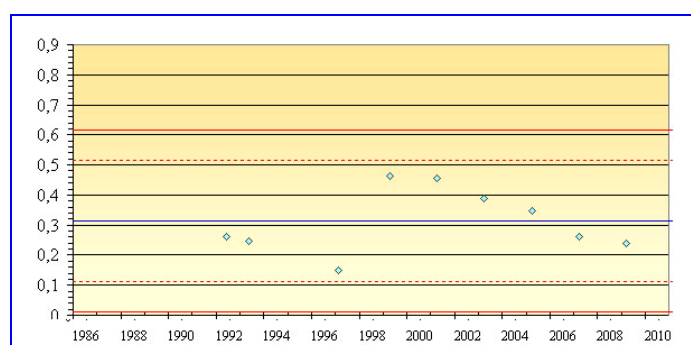


Figure IV.90. - Rapport des activités ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) du chirurgien éviscéré (zone Sud de Mururoa) depuis 1986.

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.

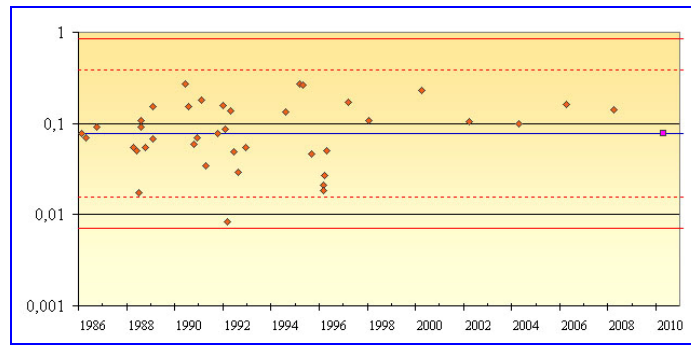


Figure IV.91. - Rapport des activités ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) du chirurgien éviscéré (zone Nord de Mururoa) depuis 1986.

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.

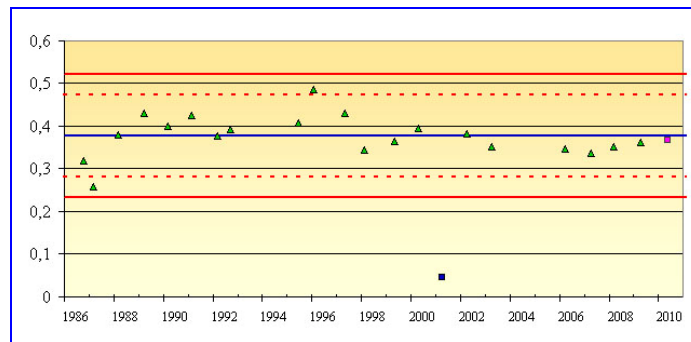


Figure IV.92. - Rapport des activités ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) du poisson chirurgien éviscéré (Fangataufa) depuis 1986.

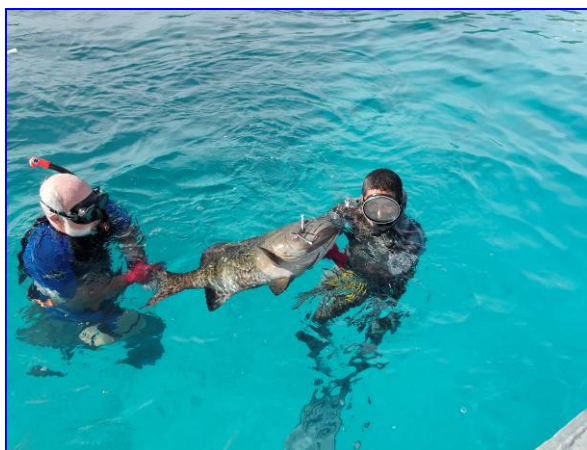
IV.6. - LE MEROU

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 γ . Des extractions chimiques sont nécessaires pour la recherche du strontium et des isotopes du plutonium.



Prélèvement d'un méro.

IV.6.2. - LA RADIOACTIVITE DU MEROU

La radioactivité dans la chair du méro 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⁻¹) de la chair du méro en 2010.

| Localisation | Date | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | ¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹) | ⁹⁰ Sr (Bq.kg ⁻¹) | ⁶⁰ Co (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁸ Pu (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.kg ⁻¹) |
|--------------------|------------|---|---|--|--|---|---|
| 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 |

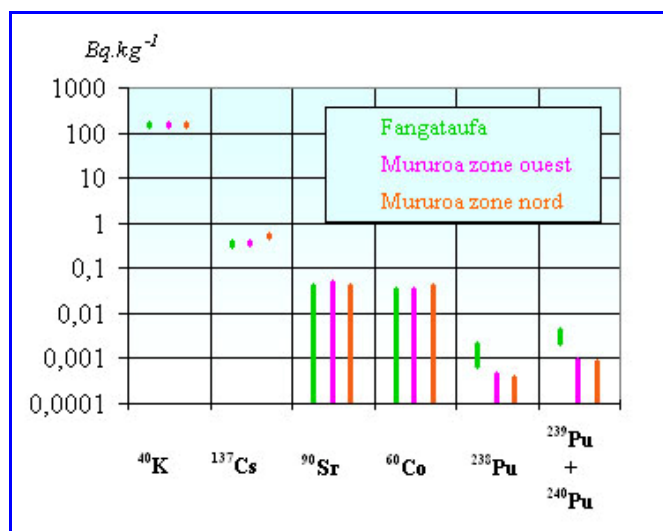


Figure IV.93. - Activité massique de la chair du méro en 2010.

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^{er} 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⁻¹. 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⁻¹ sont comprises dans cet intervalle.

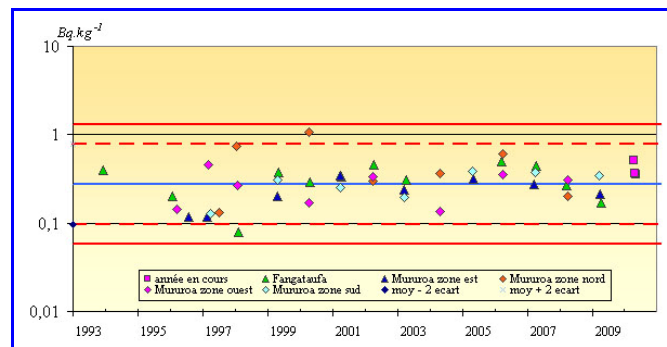


Figure IV.94. - Activité de la chair du mérou en ¹³⁷Cs à Mururoa et à Fangataufa depuis 1993. (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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 γ . 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⁻¹) de la chair du turbo soyeux en 2010.

| Localisation | Date | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | ¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹) | ⁹⁰ Sr (Bq.kg ⁻¹) | ⁶⁰ Co (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁸ Pu (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.kg ⁻¹) |
|--------------------|------------|---|---|--|--|---|---|
| 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 |

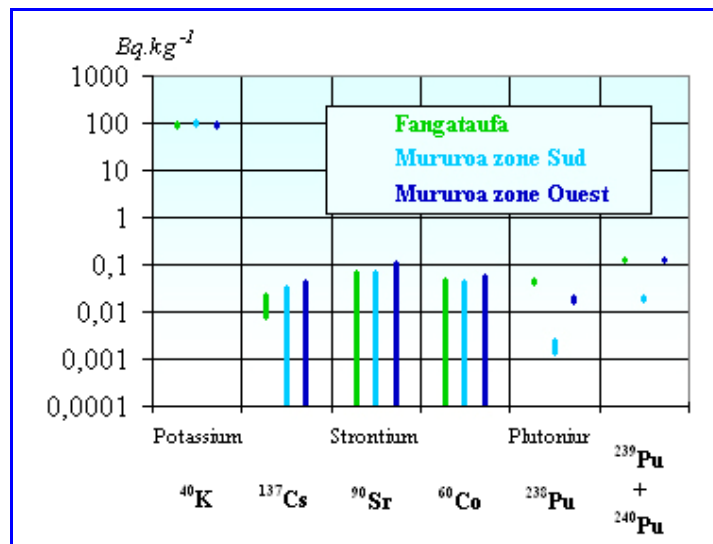


Figure V.1. - Activité massique de la chair du turbo soyeux en 2010.

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 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).

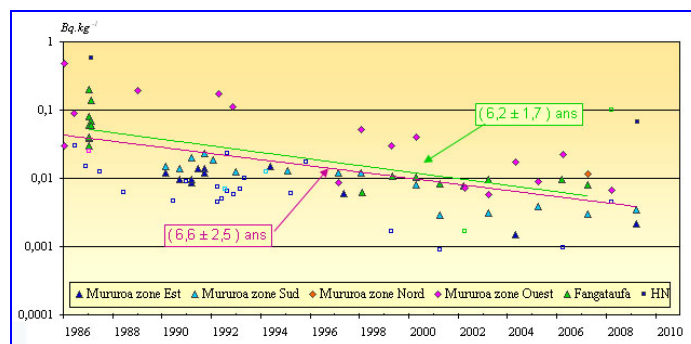


Figure V2. - Évolution de l'activité massique en ^{238}Pu de la chair du turbo, depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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^{er} 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.

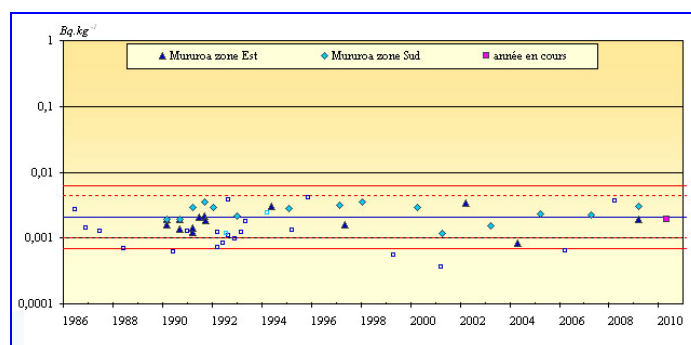


Figure V.3. - Activité massique en ^{238}Pu de la chair du turbo en zone Est et Sud à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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^{er} 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.

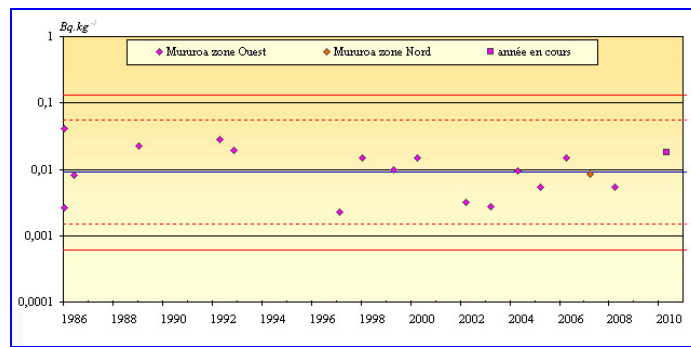


Figure V.4. - Activité massique en ^{238}Pu de la chair du turbo en zone Ouest et Nord à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

Fangataufa

À l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 23 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées au 1^{er} 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.

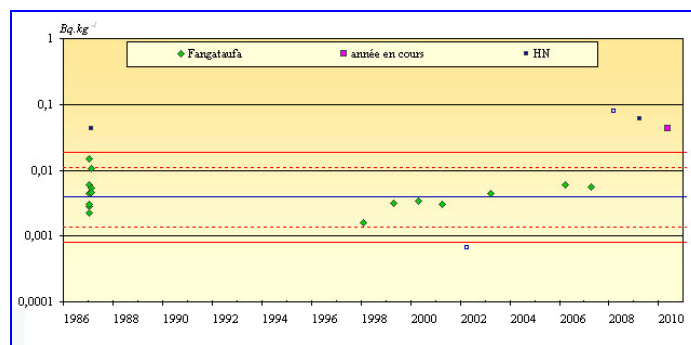


Figure V.5. - Activité massique en ^{238}Pu de la chair du turbo à Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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).

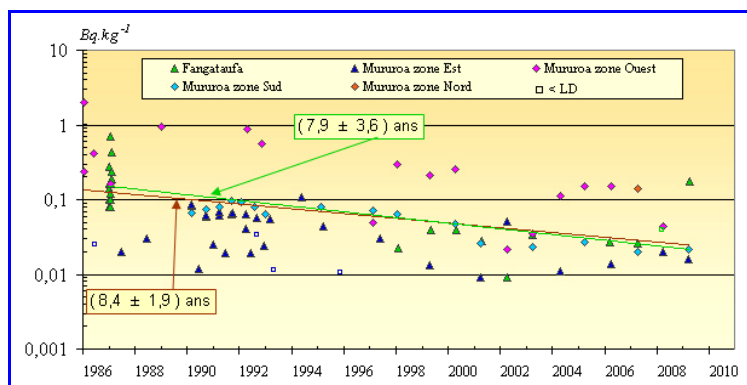


Figure V6. - Évolution de l'activité massique en (²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu) de la chair du turbo, depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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^{er} 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⁻¹. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 0,08] traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 (0,02 Bq.kg⁻¹) est comprise dans cet intervalle.

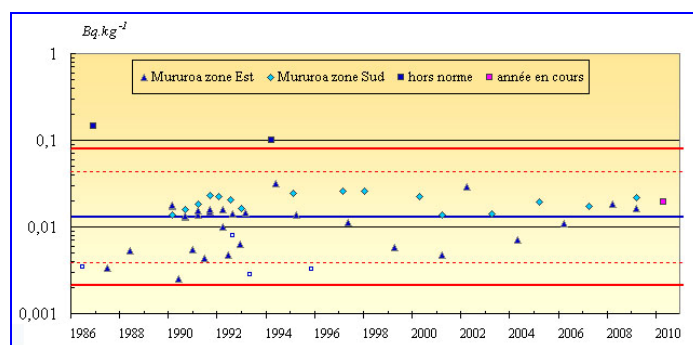


Figure V.7. - Activité massique en (²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu) de la chair du turbo en zone Est et Sud à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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^{er} 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⁻¹. L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,005 ; 1,1] traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 (0,13 Bq.kg⁻¹) est comprise dans cet intervalle.

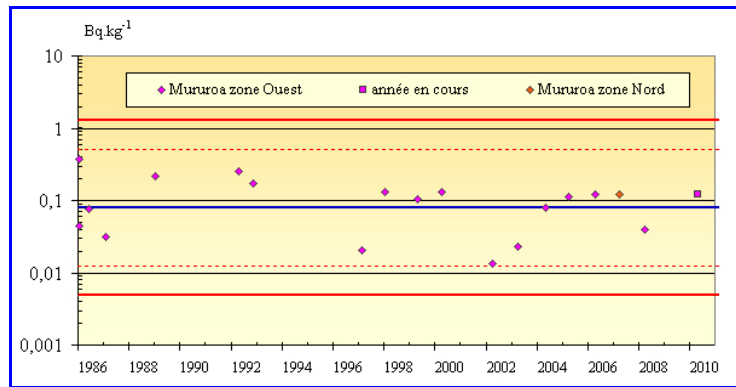


Figure V.8. - Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) de la chair du turbo en zone Ouest et Nord à Mururoa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

Fangataufa

À l'aide de cette période apparente, les valeurs mesurées sur les 24 échantillons prélevés depuis 1986, sont ramenées au 1^{er} 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.

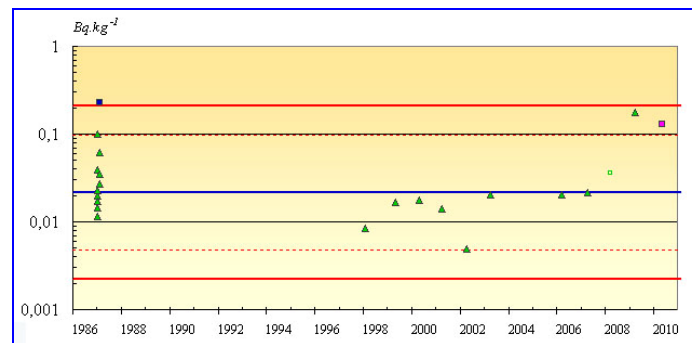


Figure V.9. - Activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) de la chair du turbo à Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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.

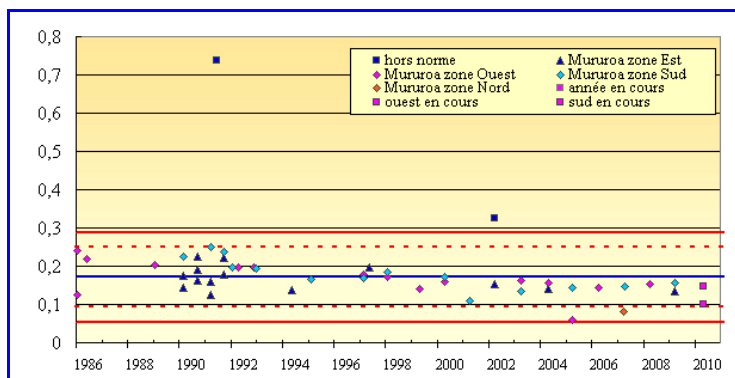


Figure V.10. - Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) de la chair du turbo soyeux à Mururoa depuis 1986.

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 %.

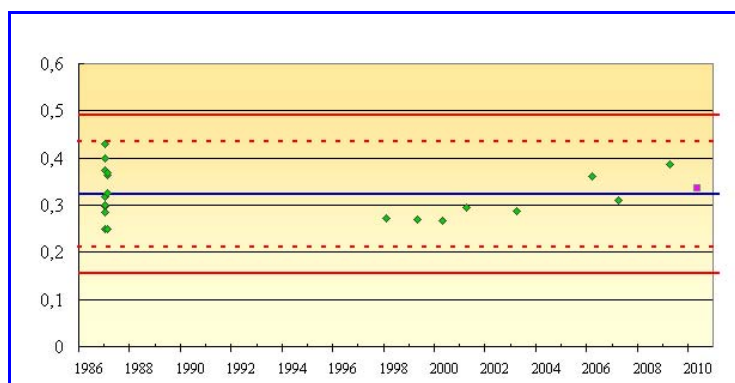


Figure V.11. - Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) de la chair du turbo soyeux à Fangataufa depuis 1986.

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 | | | | |

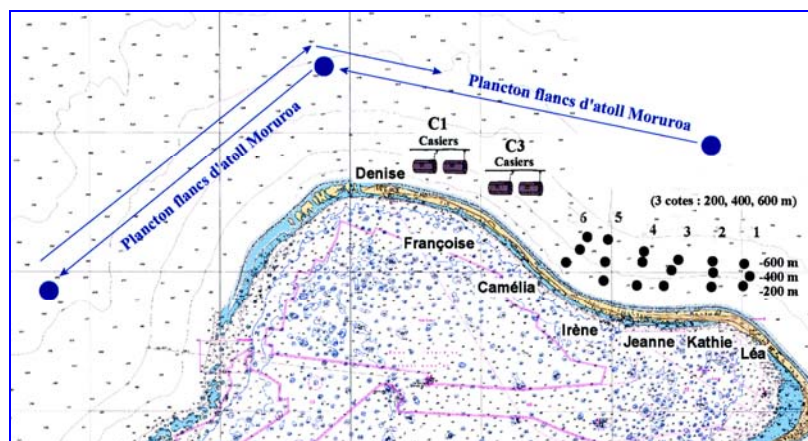


Figure V.12. – Localisation des radiales de prélèvement des eaux et du plancton des flancs de l’atoll de Mururoa, ainsi que des crevettes de profondeur, en 2010.

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 | | | |

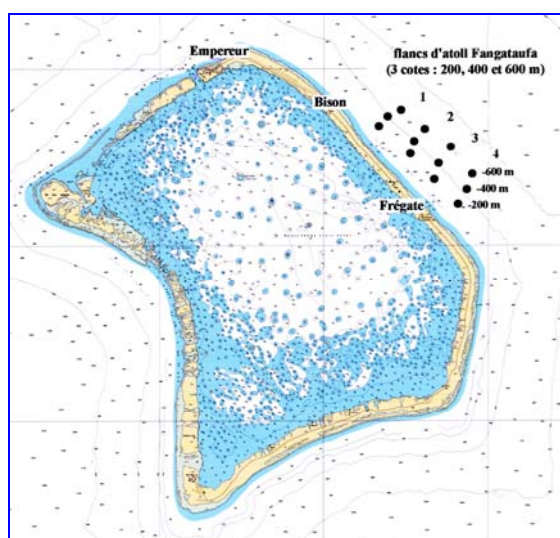


Figure V.13. - Prélèvement des eaux des flancs de l’atoll de Fangataufa en 2010.

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 ⁻³) |
|-----------|---------|----------------|--------------------------------|
| 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 ⁻³) |
|-----------------------|---------|----------------|--------------------------------|
| 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⁻³).

V.3. - LE PLANCTON OCEANIQUE DES FLANCS D'ATOLL

Le plancton des eaux océaniques polynésiennes se caractérise par une faible biomasse et un grand nombre d'espèces. Ce plancton tropical ne présente pas de particularité faunistique notable.

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

Les traits de plancton s'effectuent à partir du RR REVI. Les prélèvements sont effectués aux abords immédiats des atolls de Mururoa et de Fangataufa.

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 γ . 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⁻¹) du plancton des flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa en 2010.

| Lieux | Date | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | ¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹) | ⁶⁰ Co (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁸ Pu (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.kg ⁻¹) |
|-------------------|------------|---|---|--|---|---|
| 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 |

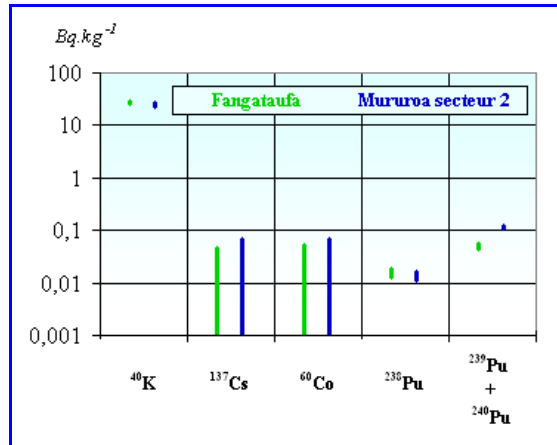


Figure V.14. - Activité du plancton des flancs des atolls de Mururoa et de Fangataufa en 2010.

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⁻¹. L'intervalle de probabilité 99,7 % [3 ; 134] Bq.kg⁻¹ traduit la dispersion des résultats. Les valeurs 2010 qui varient entre 25 et 28 Bq.kg⁻¹ 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).

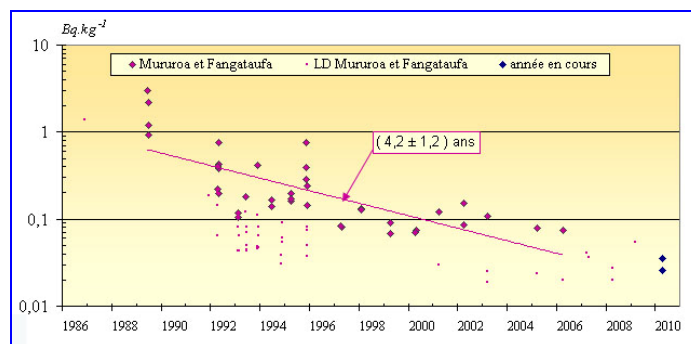


Figure V.15. - Activité massique en ^{60}Co du plancton des flancs d'atoll de Mururoa et Fangataufa depuis 1986.

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.

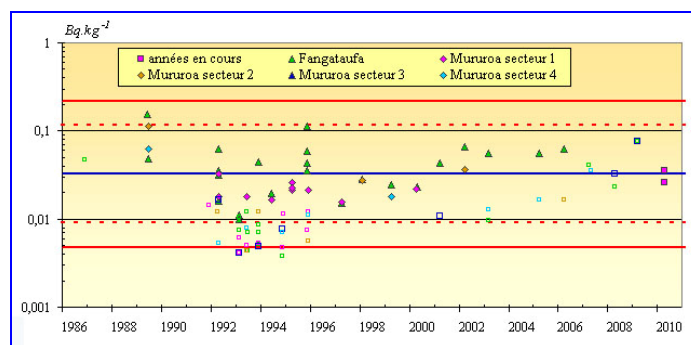


Figure V.16. - Activité massique en ^{60}Co du plancton des flancs d'atoll de Mururoa et Fangataufa depuis 1986 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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.

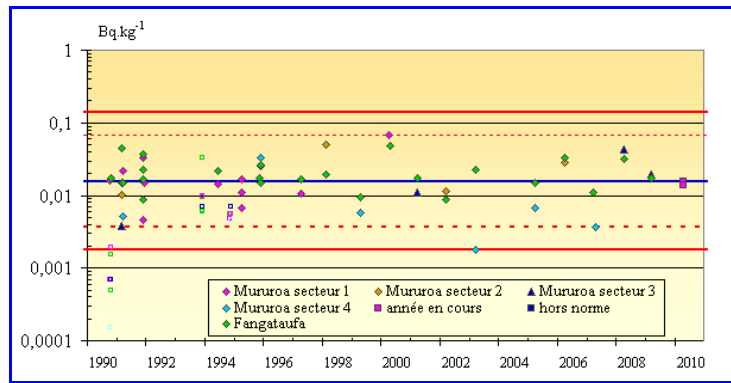


Figure V.17. - Activité massique en ²³⁸Pu du plancton des flancs d'atoll de Mururoa et Fangataufa depuis 1990 (valeurs ramenées au 1^{er} mai 2010).

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⁻¹.

L'intervalle de probabilité 99,7 % [0,002 ; 4] Bq.kg⁻¹ 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⁻¹) sont comprises dans cet intervalle.

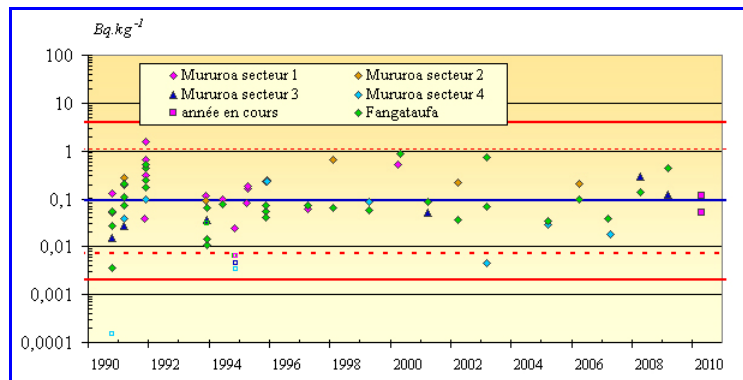


Figure V.18. - Activité massique en (²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu) du plancton des flancs d'atoll de Mururoa et Fangataufa depuis 1990.

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⁻¹) sont comprises dans cet intervalle.

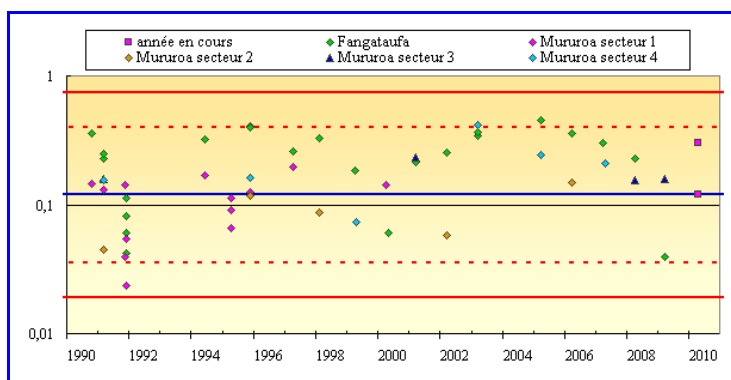


Figure V.19. - Rapport d'activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) du plancton océanique des flancs d'atoll à Mururoa et Fangataufa depuis 1990.

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 γ . 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⁻¹) des crevettes de profondeur en 2010.

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

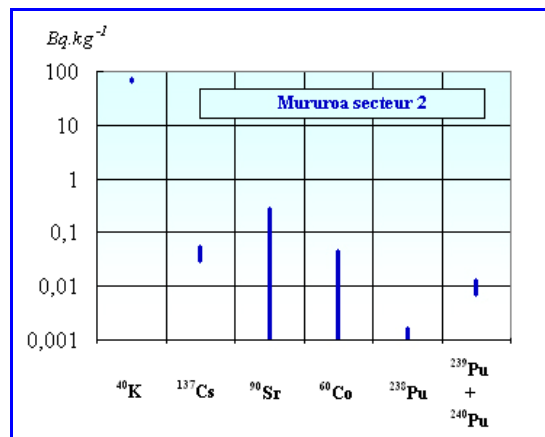


Figure V.20. - Activité massique des crevettes de profondeur en 2010.

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] 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.

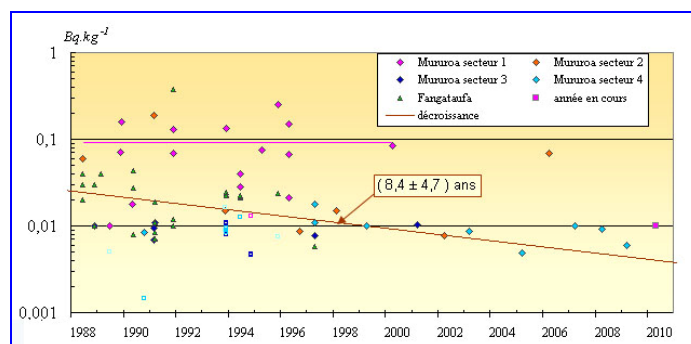


Figure V.21. – Evolution de l'activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) des crevettes de profondeur depuis 1988.

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] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats (Figure V.22.). Il n'y a pas eu de prélèvement dans ce secteur en 2010.

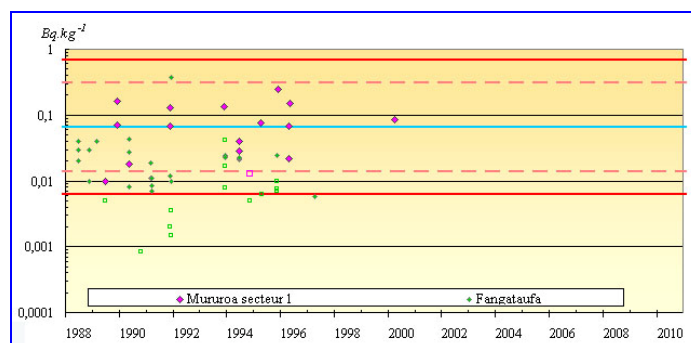


Figure V.22. – Evolution de l'activité massique en ($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) des crevettes de profondeur dans le secteur 1 depuis 1988.

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⁻¹ 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⁻¹) est comprise dans cet intervalle (Figure V.23.).

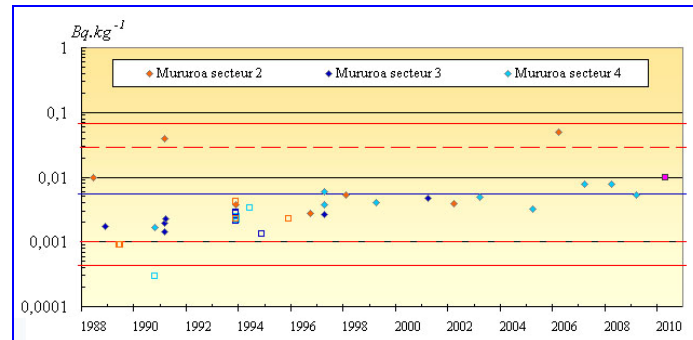


Figure V.23. – Evolution de l'activité massique en (²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu) des crevettes de profondeur depuis 1988.

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 γ . 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^{-1}) de la chair de gymnosarde en 2010.

| Lieux | Date | ^{40}K (Bq.kg^{-1}) | ^{137}Cs (Bq.kg^{-1}) | ^{90}Sr (Bq.kg^{-1}) | ^{60}Co (Bq.kg^{-1}) | ^{238}Pu (Bq.kg^{-1}) | $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ (Bq.kg^{-1}) |
|-------------------|------------|--|--|---|---|--|--|
| Mururoa secteur I | 25/04/2010 | 177 ± 14 | $0,37 \pm 0,06$ | $\leq 0,052$ | $\leq 0,049$ | $\leq 0,00037$ | $\leq 0,0013$ |
| Fangataufa | 16/05/2010 | 155 ± 12 | $0,29 \pm 0,05$ | $\leq 0,046$ | $\leq 0,041$ | $\leq 0,00047$ | $\leq 0,00096$ |

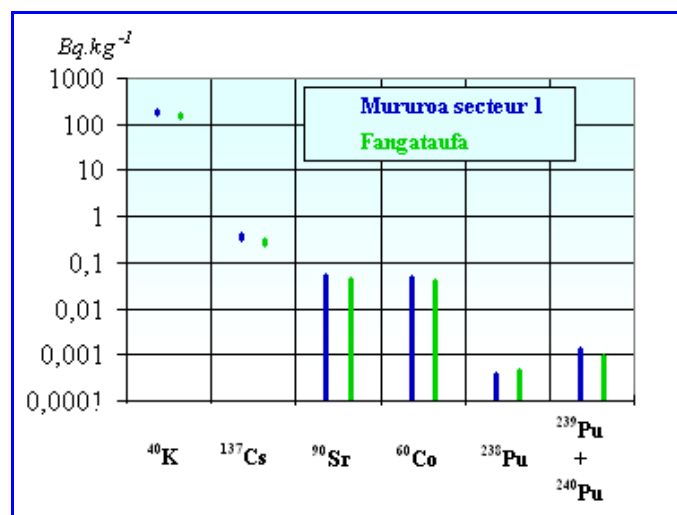


Figure V.24. - Activité massique de la chair de gymnosarde en 2010.

Radioactivité d'origine naturelle

Potassium 40

La valeur moyenne en potassium 40 calculée sur les 61 échantillons prélevés depuis 1987, est de $150 \pm 6 \text{ Bq.kg}^{-1}$. L'intervalle de probabilité 99,7 % [80 ; 219] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des résultats. Les valeurs 2010 qui sont égales à 155 et 177 Bq.kg^{-1} 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^{er} mai 2010.

La moyenne géométrique est de 0,31 Bq.kg^{-1} . 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⁻¹, sont comprises dans cet intervalle (Figure V.25.).

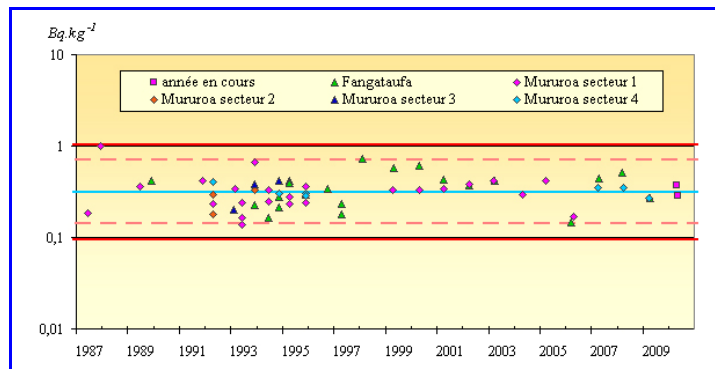


Figure V.25. - Activité massique en ¹³⁷Cs de la chair de gymnosarde depuis 1987. (valeurs ramenées au 01/05/2010).

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 γ . 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 (Bq.kg^{-1}) de la chair de la bonite à ventre rayé en 2009.

| Espèce | Lieux | Date | ^{40}K (Bq.kg^{-1}) | ^{137}Cs (Bq.kg^{-1}) | ^{90}Sr (Bq.kg^{-1}) | ^{60}Co (Bq.kg^{-1}) | ^{238}Pu (Bq.kg^{-1}) | $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ (Bq.kg^{-1}) |
|-----------------------|-------------------|------------|--|--|---|---|--|--|
| bonites à ventre rayé | Mururoa secteur I | 25/04/2010 | 132 ± 10 | $0,19 \pm 0,04$ | $\leq 0,064$ | $\leq 0,039$ | $\leq 0,00078$ | $\leq 0,0018$ |

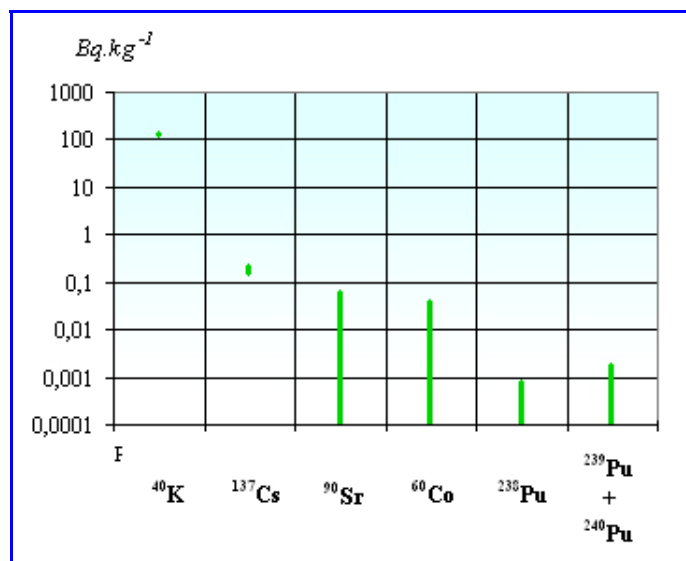


Figure VI.1. - Activité massique de la chair de la bonite à ventre rayé en 2010.

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] Bq.kg^{-1} traduit la dispersion des valeurs. La valeur 2010 (132 Bq.kg^{-1}) est comprise dans cet intervalle.

Radioactivité d'origine artificielle

Césium 137

La figure VI.2. présente la radioactivité en ^{137}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.

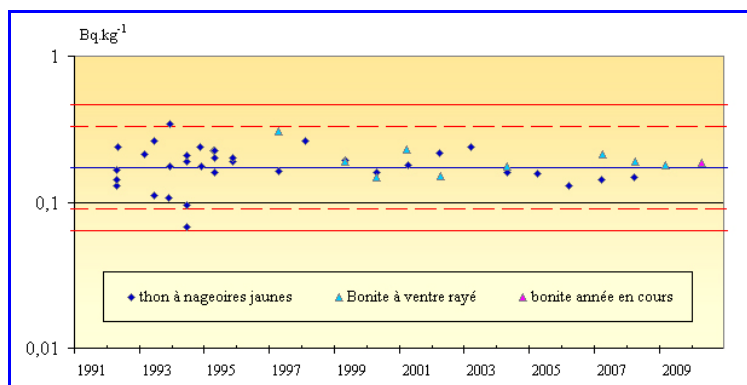


Figure VI.2. - Activité massique en ¹³⁷Cs de la chair du thon à nageoires jaunes et de la bonite à ventre rayé, depuis 1992.

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, mérours) 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.

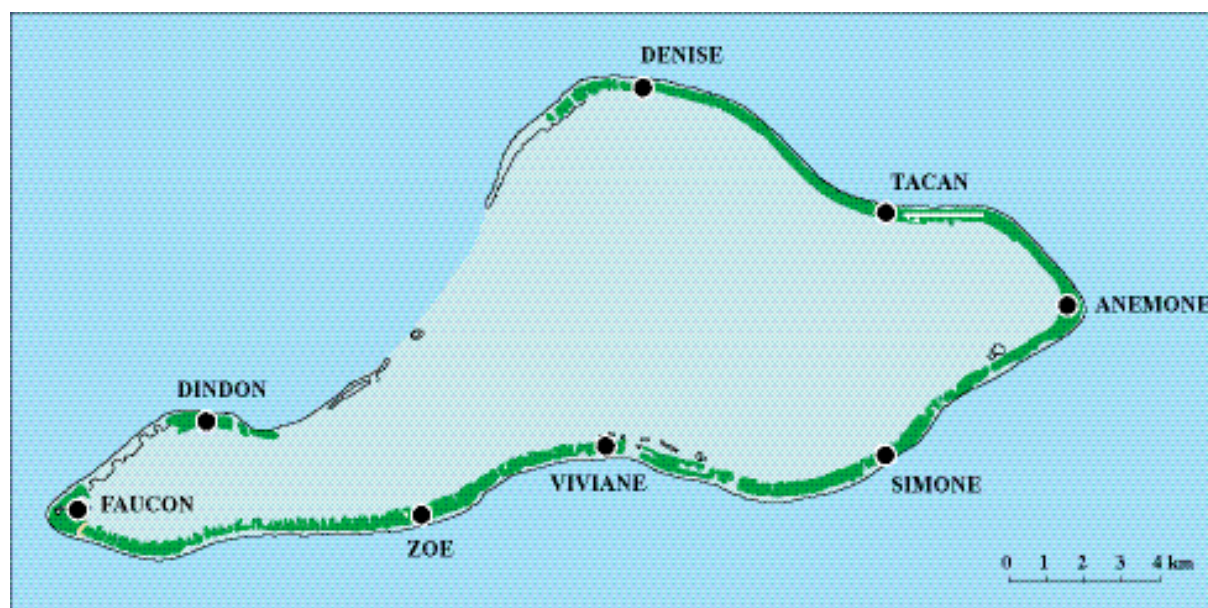


Figure A.1. : Emplacements des prélèvements de sols sur l'atoll de Mururoa.

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

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

A.2. - LES RESULTATS

Les résultats des mesures de la radioactivité des principaux radionucléides naturels (^{40}K , ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{235}U et ^{228}Ac) et artificiels (^{60}Co , ^{90}Sr , ^{125}Sb , ^{137}Cs , ^{155}Eu , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu et ^{241}Am) obtenus en 2006 sont donnés. Ils sont exprimés en Becquerel par kilogramme de matière sèche (Bq.kg^{-1} sec). Ils sont comparés aux résultats de la campagne de prélèvement de sols effectués en 1992 à Mururoa (125 prélèvements) et à celle de 1986-1987 à Fangataufa (403 prélèvements).

A.2.1. - L'atoll de MURUROA

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

| Lieux | Date de prélèvement | 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 ⁻¹ sec) |
|----------------|------------------------------------|
| DINDON | ≤ 8,30 |
| FAUCON | 3,1 ± 1,8 |
| ZOE | 11,0 ± 1,7 |
| VIVIANE | 6,4 ± 1,5 |
| SIMONE | 18,9 ± 4,9 |
| ANEMONE | 5,9 ± 2,1 |
| TACAN | 7,0 ± 1,9 |
| DENISE | 13,2 ± 2,7 |
| <i>Moyenne</i> | <i>9,36 ± 3,81</i> |

Tableau A.2. : Activité ⁴⁰K des sols de Mururoa en 2003.

En 2006, l'activité moyenne en ⁴⁰K des sols prélevés aux 8 points de surveillance est de 9,4 Bq.kg⁻¹ sec (de 3,1 à 18,9 Bq.kg⁻¹ sec). La valeur de Dindon est inférieure à la limite de détection.

La figure A.3. présente l'activité en ⁴⁰K des sols depuis 1998.

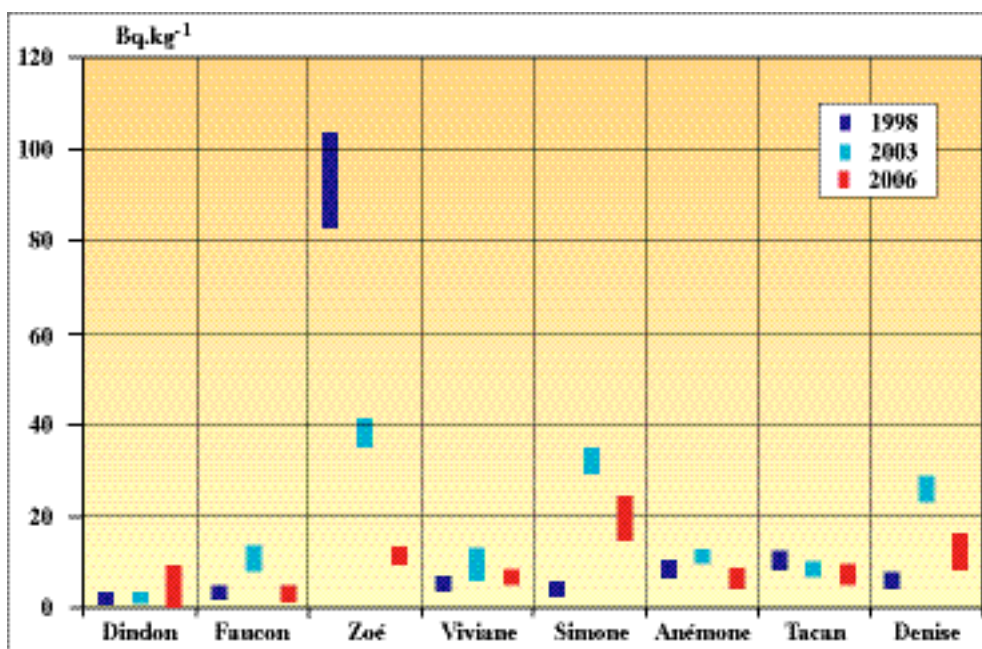


Figure A.3. : Activité ^{40}K des sols de Mururoa depuis 1998.

Les activités en ^{40}K dans les sols à Mururoa sont proches de celles mesurées dans les sédiments. Certaines valeurs sont plus élevées (Zoé, Simone et Denise).

Les différences sont probablement dues à un dépôt de sel marin (activité du sel marin, environ 300 Bq.kg $^{-1}$).

Famille naturelle de l'Uranium 238

Le tableau A.3. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

| Lieux | Activité ^{234}Th (Bq.kg $^{-1}$ sec) | Activité $^{226}\text{Ra}^*$ (Bq.kg $^{-1}$ sec) | Activité ^{210}Pb (Bq.kg $^{-1}$ sec) |
|----------------|---|---|---|
| DINDON | 20,7 ± 1,5 | 1,06 ± 0,22 | 49 ± 11 |
| FAUCON | 22,9 ± 1,5 | 0,77 ± 0,13 | 40,3 ± 6,2 |
| ZOE | 16,1 ± 1,3 | 1,85 ± 0,28 | 18,4 ± 2,1 |
| VIVIANE | 18,5 ± 1,3 | 1,46 ± 0,32 | 14,9 ± 5,7 |
| SIMONE | 20,4 ± 1,8 | 1,9 ± 0,4 | 26,1 ± 7,5 |
| ANEMONE | 20,3 ± 1,2 | 1,19 ± 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}Ra (^{214}Pb).

** : moyenne géométrique.

Tableau A.3. : Activités ^{234}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb des sols de Mururoa en 2006.

Les activités (^{234}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb) dans les sols sont proches de celles dans les sédiments.

Les figures A.4., A.5. et A.6. présentent la répartition par zone de l'activité en 1998, 2003 et 2006 dans les sols de trois radionucléides, Thorium, Radium et Plomb (^{234}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb), émetteurs γ de la famille naturelle de l'Uranium 238.

L'activité en ^{234}Th des sols prélevés en 2006 est comprise entre 16,1 et 22,9 Bq.kg^{-1} sec (19,2 Bq.kg^{-1} sec en moyenne).

L'activité des sols en ^{226}Ra est hétérogène. Elle est comprise entre 0,77 et 8,39 Bq.kg^{-1} sec (1,75 Bq.kg^{-1} sec en moyenne).

L'activité des sols en ^{210}Pb est aussi très hétérogène. Elle est comprise entre 14,9 et 49 Bq.kg^{-1} sec (24,4 Bq.kg^{-1} sec en moyenne).

Un important fractionnement de la chaîne naturelle de ^{238}U est observé dans les sols. Les résultats de mesure permettent de mettre en évidence une discontinuité de la chaîne au niveau du ^{226}Ra ; les activités du ^{226}Ra sont plus de 10 fois plus faibles que celles du ^{234}Th . Le radium soluble est lessivé par les importantes précipitations. Le ^{210}Pb est d'origine tellurique.

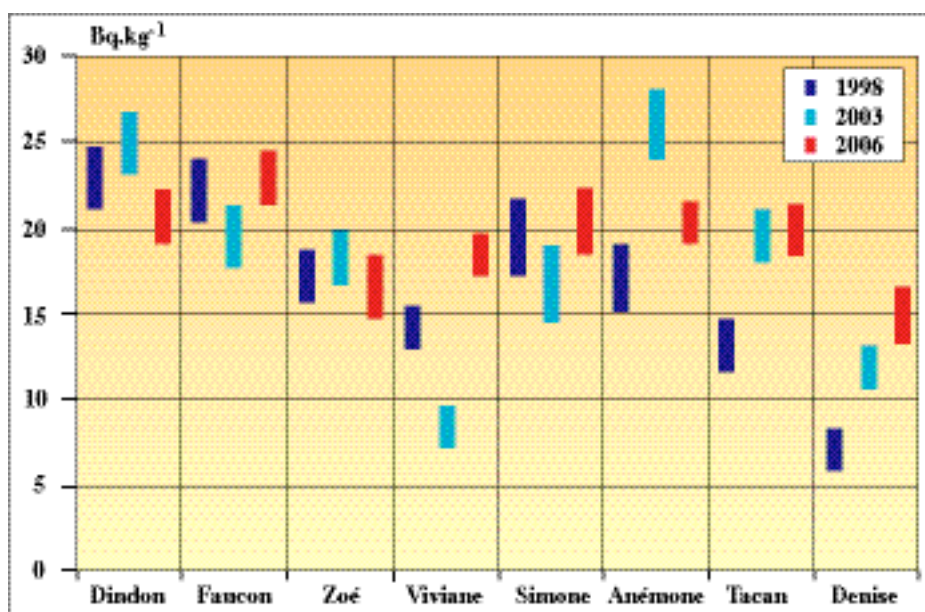


Figure A.4. : Activité ^{234}Th des sols de Mururoa depuis 1998.

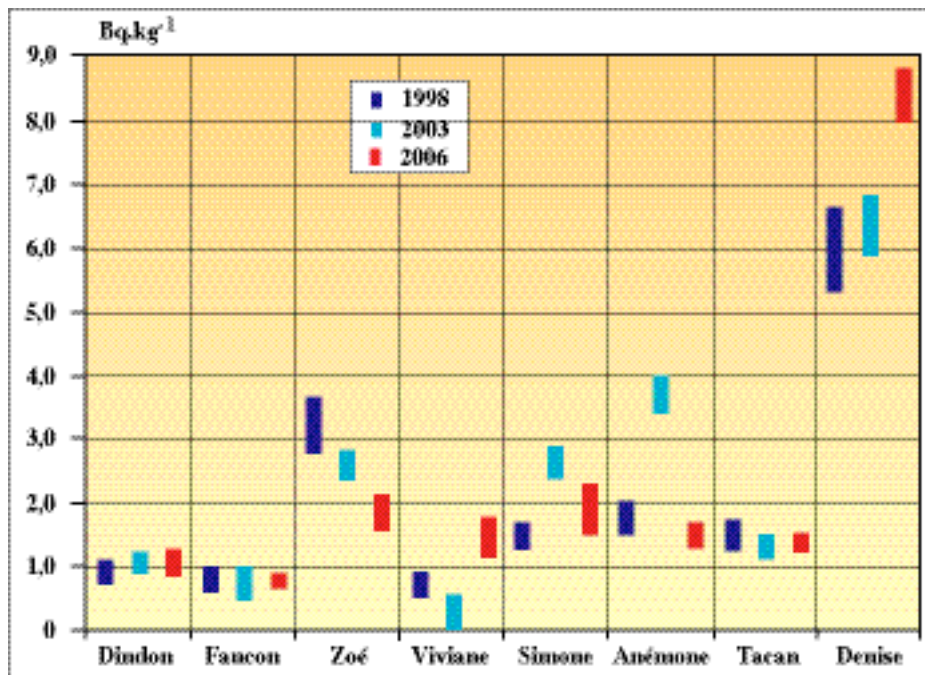


Figure A.5. : Activité ²²⁶Ra des sols de Mururoa depuis 1998.

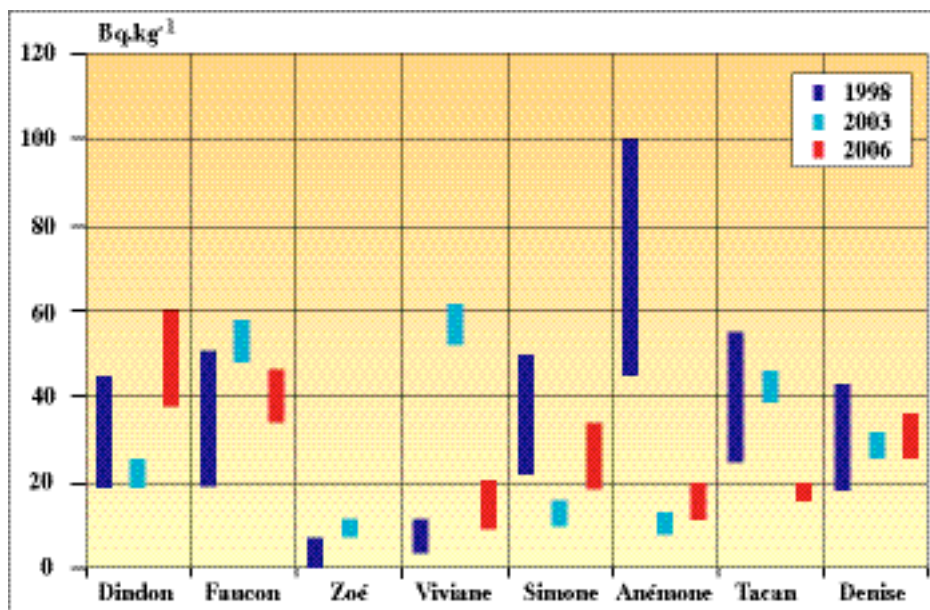


Figure A.6. : Activité ²¹⁰Pb des sols de Mururoa en 1998.

Uranium 235

Le tableau A.4 regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

| Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ sec) |
|----------------------------|------------------------------------|
| DINDON | ≤ 0,31 |
| FAUCON | 1,31 ± 0,46 |
| ZOE | 0,72 ± 0,18 |
| VIVIANE | 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 ²³⁵U des sols de Mururoa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en ²³⁵U des sols prélevés aux 8 points de surveillance est de 0,64 Bq.kg⁻¹ sec (de ≤ 0,23 à 1,31 Bq.kg⁻¹ sec).

La figure A.7. présente l'activité des sols en ²³⁵U.

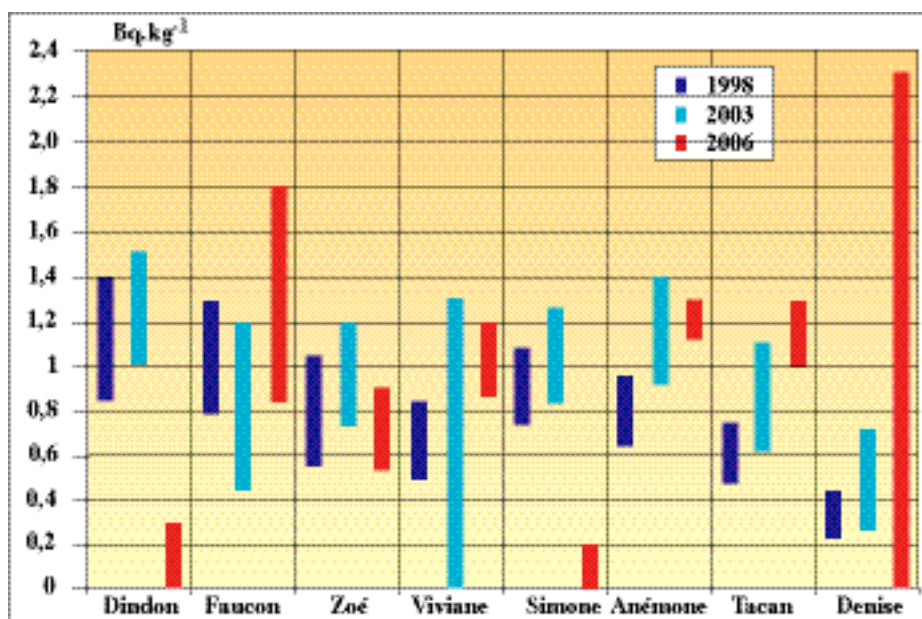


Figure A.7. : Activité ²³⁵U des sols de Mururoa depuis 1998.

Les activités en ²³⁵U mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le ²³⁴Th. On peut en conclure qu'il y a équilibre radioactif entre ²³⁸U et son descendant ²³⁴Th dans les sols, puisque le rapport d'activité ²³⁸U/²³⁵U est de l'ordre de 20 pour l'Uranium naturel. Le tableau A.5. et la figure A.8. présentent les rapports d'activité ²³⁴Th/²³⁵U 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>$18,4 \pm 2,01$</i> |

Tableau A.5. : Rapport des activités $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ des sols de Mururoa en 2006.

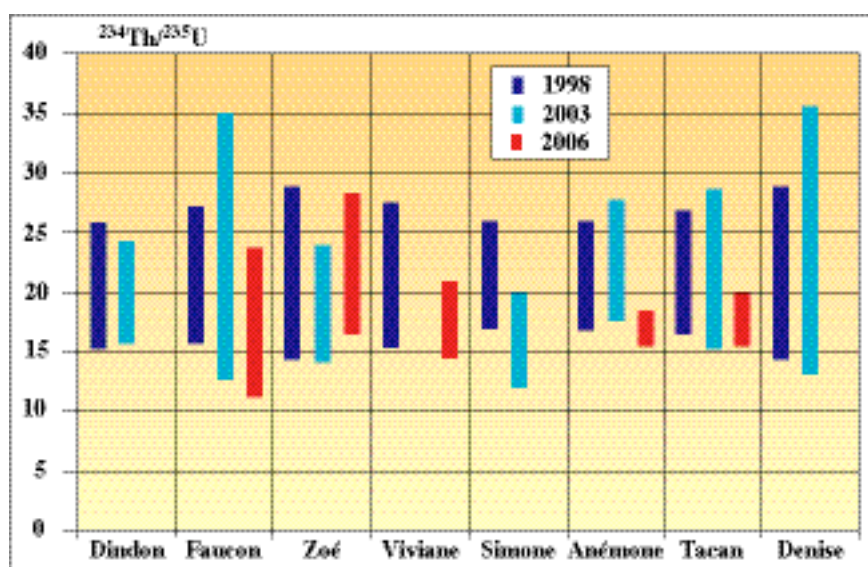


Figure A.8. : Rapport des activités $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ des sols de Mururoa depuis 1998.

Famille naturelle du Thorium 232

La radioactivité des sols en ^{228}Ac (Actinium), radionucléide émetteur γ , faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th est donnée par le tableau A.6.

Toutes les valeurs sont inférieures à la limite de détection.

| Lieux | Activité ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{sec}$) |
|---------|--|
| 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}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 ($\text{Bq.kg}^{-1}\text{sec}$) | | | |
|---------|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ^{60}Co | ^{125}Sb | ^{137}Cs | ^{155}Eu |
| DINDON | $\leq 0,43$ | $\leq 1,60$ | $\leq 0,34$ | $\leq 0,55$ |
| FAUCON | $\leq 0,19$ | $\leq 0,66$ | $\leq 0,15$ | $\leq 0,30$ |
| ZOE | $\leq 0,11$ | $\leq 0,35$ | $\leq 0,10$ | $\leq 0,24$ |
| VIVIANE | $\leq 0,10$ | $\leq 0,31$ | $\leq 0,09$ | $\leq 0,21$ |
| SIMONE | $\leq 0,31$ | $\leq 1,10$ | $\leq 0,24$ | $\leq 0,46$ |
| ANEMONE | $\leq 0,13$ | $\leq 0,47$ | $0,25 \pm 0,12$ | $\leq 0,33$ |
| TACAN | $\leq 0,15$ | $\leq 0,49$ | $0,25 \pm 0,13$ | $\leq 0,27$ |
| DENISE | $\leq 0,22$ | $\leq 0,71$ | $0,95 \pm 0,23$ | $\leq 0,38$ |

Tableau A.7. : Activité ^{60}Co , ^{125}Sb , ^{137}Cs et ^{155}Eu des sols de Mururoa en 2006.

Toutes les valeurs, à l'exception de Denise en ^{137}Cs , sont inférieures ou proches de la limite de détection.

La figure A.9. présente l'activité des sols en ^{137}Cs . Des valeurs équivalentes avaient été observées lors de la campagne de prélèvements de sols de 1992.

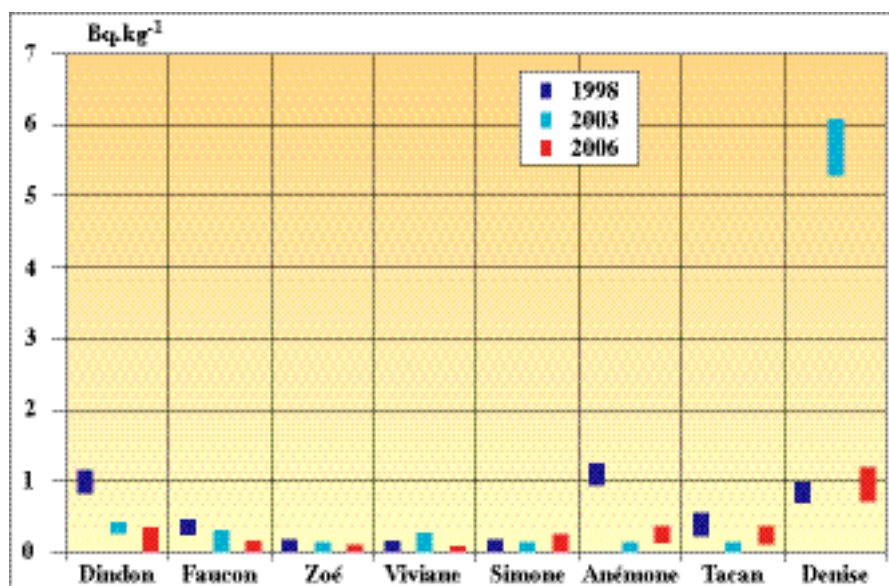


Figure A.9. : Activité ^{137}Cs des sols de Mururoa depuis 1998.

Strontium 90

Les valeurs en ^{137}Cs étant inférieures à 1 Bq.kg^{-1} , le ^{90}Sr n'a pas été mesuré.

Plutonium

Le tableau A.8. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

| Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ sec) | | Rapport |
|---------|------------------------------------|---------------------------------------|---|
| | ²³⁸ Pu | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu | ²³⁸ Pu/ ²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu |
| DINDON | 0,289 ± 0,09 | 1,39 ± 0,17 | 0,208 ± 0,09 |
| FAUCON | 0,64 ± 0,47 | 18,1 ± 1,7 | 0,035 ± 0,47 |
| ZOE | 0,244 ± 0,05 | 2 ± 0,21 | 0,122 ± 0,05 |
| VIVIANE | 0,343 ± 0,04 | 6,84 ± 0,66 | 0,050 ± 0,04 |
| SIMONE | ≤ 0,038 | 0,389 ± 0,079 | non calculé |
| ANEMONE | 0,317 ± 0,059 | 4,3 ± 0,38 | 0,074 ± 0,015 |
| TACAN | 0,243 ± 0,053 | 1,89 ± 0,19 | 0,129 ± 0,031 |
| DENISE | 1,77 ± 0,22 | 34,6 ± 3,1 | 0,051 ± 0,008 |

Tableau A.8. : Activité ²³⁸Pu, ²³⁹Pu+²⁴⁰Pu et rapport ²³⁸Pu/²³⁹Pu+²⁴⁰Pu des sols de Mururoa en 2006.

Les activités en ²³⁸Pu et en ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu des sols prélevés en 2006 varient :
 de ≤ 0,038 à 1,77 Bq.kg⁻¹ sec en ²³⁸Pu
 de 0,39 à 34,6 Bq.kg⁻¹ sec en ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu.

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 ²³⁸Pu et en ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu depuis 1998. Les valeurs mesurées en FAUCON sont très dispersées (contamination par tache).

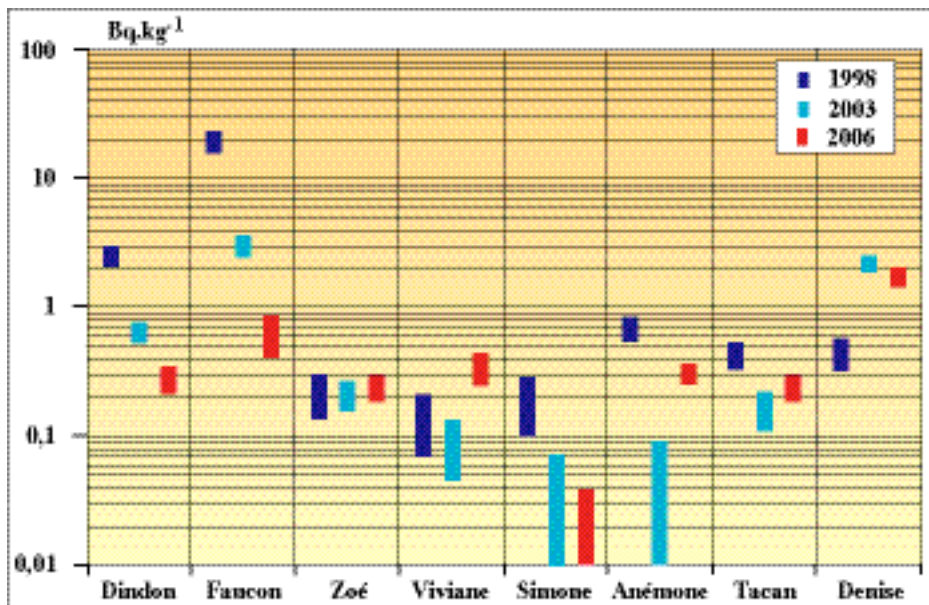


Figure A.10. : Activité ²³⁸Pu des sols de Mururoa depuis 1998.

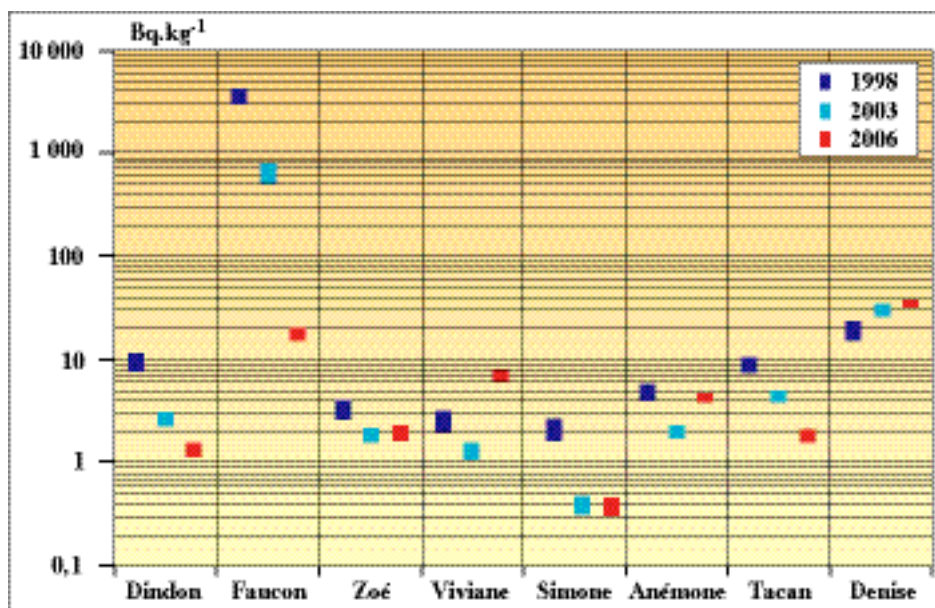


Figure A.11. : Activité en $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des sols de Mururoa depuis 1998.

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).

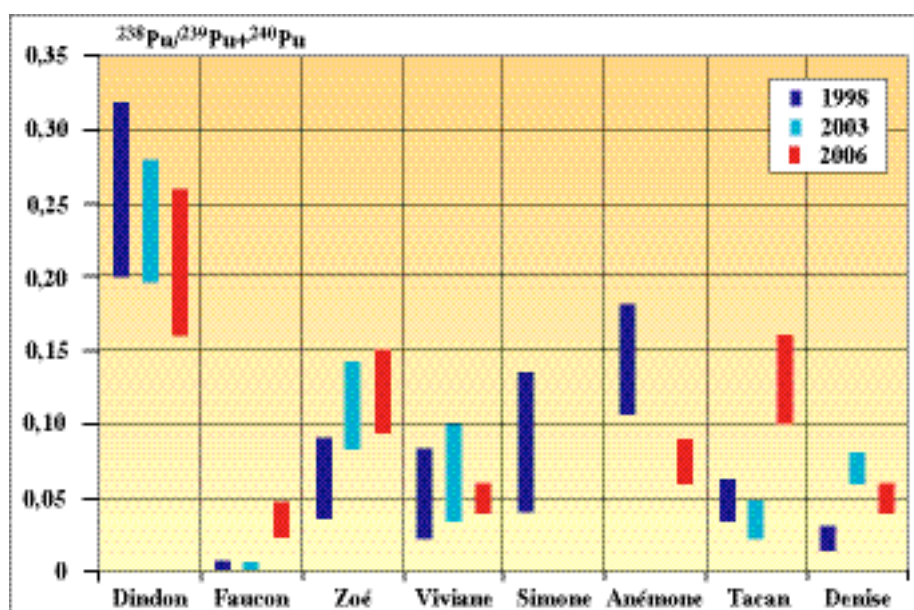


Figure A.12. : Rapport des activités $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des sols de Mururoa depuis 1998.

Américium 241

Le tableau A.9. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 8 emplacements.

| Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ sec) |
|---------|------------------------------------|
| DINDON | ≤ 0,35 |
| FAUCON | 0,98 ± 0,17 |
| ZOE | ≤ 0,15 |
| VIVIANE | 0,35 ± 0,10 |
| SIMONE | ≤ 0,26 |
| ANEMONE | ≤ 0,17 |
| TACAN | 0,18 ± 0,12 |
| DENISE | 2,86 ± 0,22 |

Tableau A.9. : Activité ²⁴¹Am des sols de Mururoa en 2006.

L'activité en ²⁴¹Am des sols prélevés en 2006 varie de ≤ 0,17 à 2,86 Bq.kg⁻¹ sec.

La figure A.13 présente l'activité des sols en ²⁴¹Am depuis 1998.

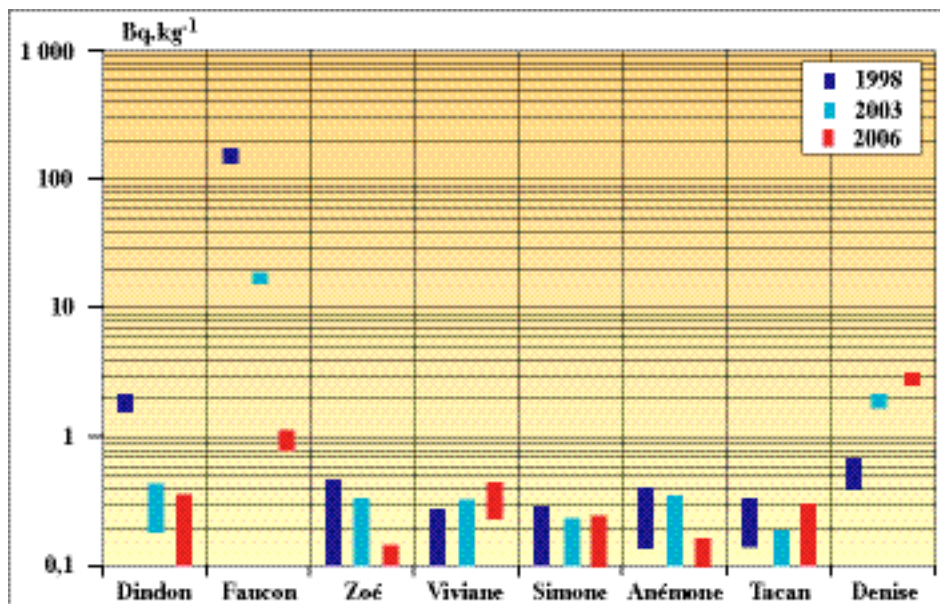


Figure A.13. : Activité ²⁴¹Am des sols de Mururoa depuis 1998.

Récapitulatif

Les figures A.14. et A.15. présentent respectivement les activités des principaux radionucléides naturels (^{40}K , ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb et ^{235}U) et artificiels (^{137}Cs , ^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu et ^{241}Am) détectés dans les sols de Mururoa en 2006.

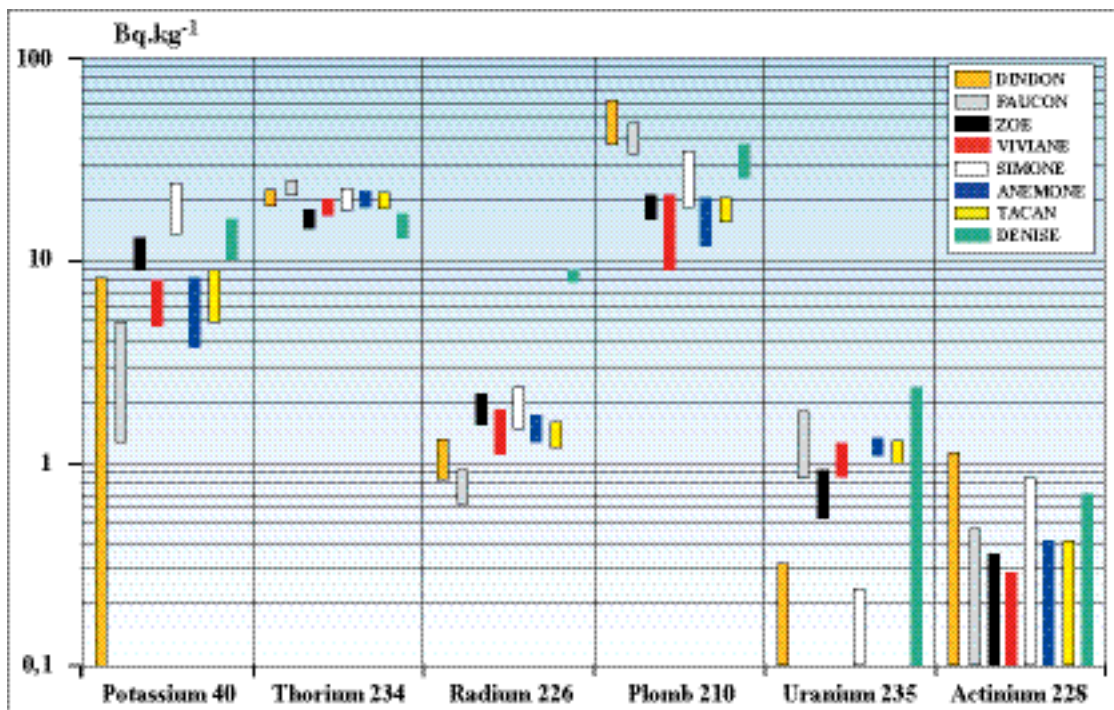


Figure A.14. : Radioactivité naturelle des sols de Mururoa en 2006.

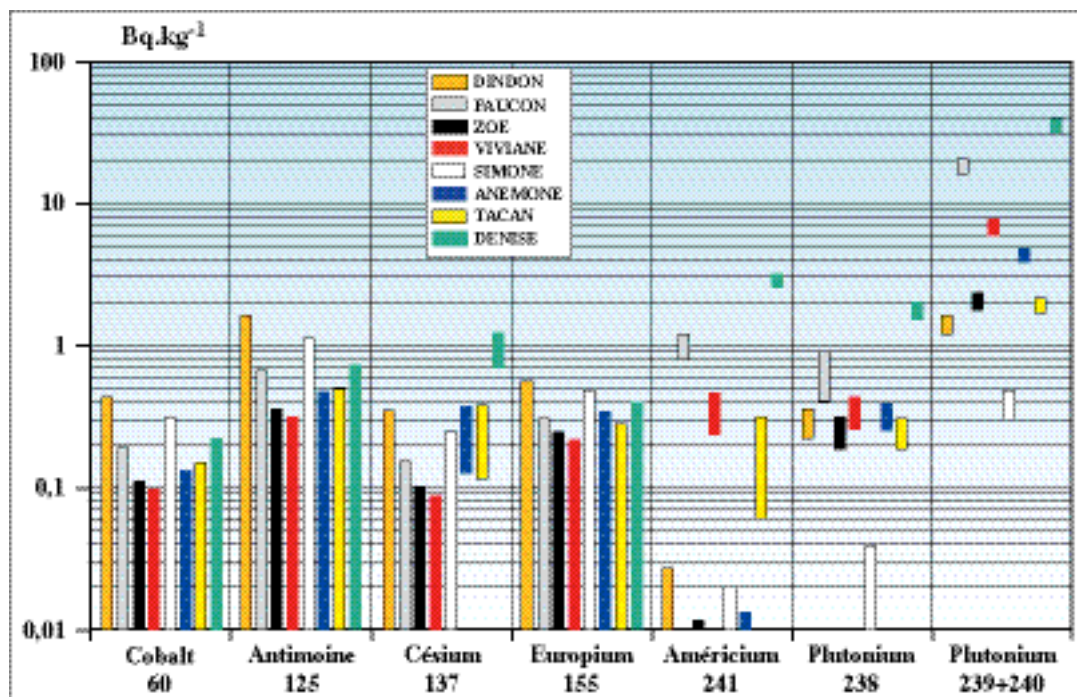


Figure A.15. : Radioactivité artificielle des sols de Mururoa en 2006.

A.2.2. – L'atoll de FANGATAUFA

Les caractéristiques des prélèvements effectués sur l'atoll de Fangataufa sont indiquées dans le tableau A.10.

| Lieux | Date de prélèvement | 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 ⁻¹ sec) |
|----------------|------------------------------------|
| PAVILLON | 1,90 ± 1,20 |
| TERME SUD | 2,44 ± 0,44 |
| ECHO | 2,37 ± 0,90 |
| FOX | 1,80 ± 1,20 |
| KILO | 1,50 ± 0,91 |
| EMPEREUR | ≤ 4,10 |
| <i>Moyenne</i> | <i>2,01 ± 0,27</i> |

Tableau A.11. : Activité ⁴⁰K des sols de Fangataufa en 2006.

En 2006, l'activité moyenne en ⁴⁰K des sols prélevés est de 2,01 ± 0,27 Bq.kg⁻¹ sec (de ≤ 4,1 à 2,44 Bq.kg⁻¹ sec).

La figure A.16 présente l'activité en ⁴⁰K des sols depuis 1998.

Les valeurs mesurées en 2006 sont, comme en 2003, plus faibles et moins dispersées que celles de 1998.

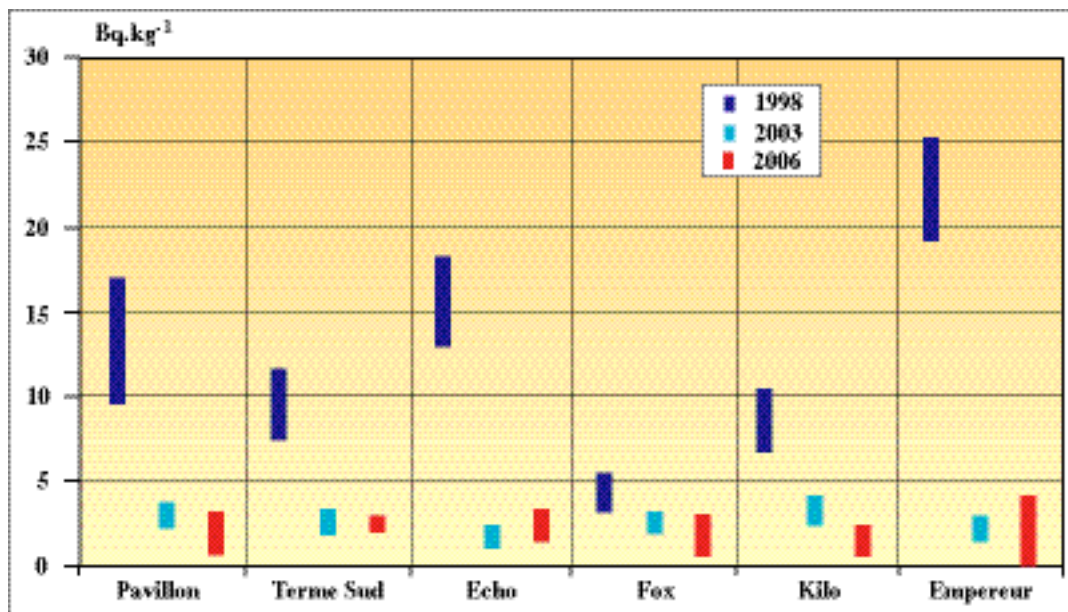


Figure A.16. : Activité ^{40}K des sols de Fangataufa depuis 1998.

Famille naturelle de l'Uranium 238

Le tableau A.12. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

| Lieux | Activité ^{234}Th (Bq.kg ⁻¹ sec) | Activité $^{226}\text{Ra}^*$ (Bq.kg ⁻¹ sec) | Activité ^{210}Pb (Bq.kg ⁻¹ sec) |
|----------------|---|---|---|
| PAVILLON | 22,3 ± 1,2 | 0,77 ± 0,15 | 11,4 ± 4 |
| TERME SUD | 25,7 ± 1,4 | 0,90 ± 0,11 | 19,9 ± 5,4 |
| ECHO | 32,7 ± 1,7 | 0,76 ± 0,15 | 11,2 ± 4,3 |
| FOX | 24,5 ± 1,6 | 0,82 ± 0,21 | 15,9 ± 4,2 |
| KILO | 20,8 ± 1,4 | 0,83 ± 0,13 | 6,2 ± 5,5 |
| EMPEREUR | 26,3 ± 2,2 | 1,16 ± 0,21 | 24 ± 9,8 |
| <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}Ra (^{214}Pb , ^{214}Bi).

** : moyenne géométrique.

Tableau A.12. : Activités ^{234}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb des sols de Fangataufa en 2006.

Les figures A.17., A.18. et A.19. présentent l'évolution de l'activité depuis 1998 dans les sols de trois radionucléides (^{234}Th , ^{226}Ra et ^{210}Pb), émetteurs γ de la famille naturelle de l'Uranium 238.

L'activité en ^{234}Th des sols prélevés en 2006 est comprise entre 20,8 et 32,7 Bq.kg^{-1} sec (27,6 Bq.kg^{-1} sec en moyenne).

L'activité des sols en ^{226}Ra est comprise entre 0,76 et 1,16 Bq.kg^{-1} sec.

L'activité des sols en ^{210}Pb est comprise entre 6,2 et 24 Bq.kg^{-1} sec.

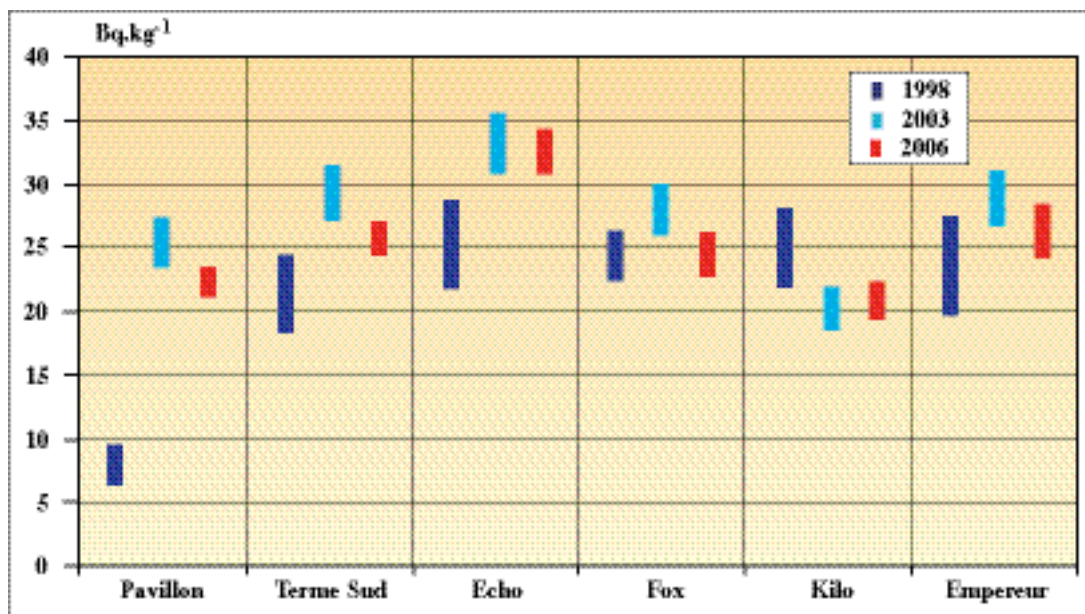


Figure A.17. : Activité ^{234}Th des sols de Fangataufa depuis 1998.

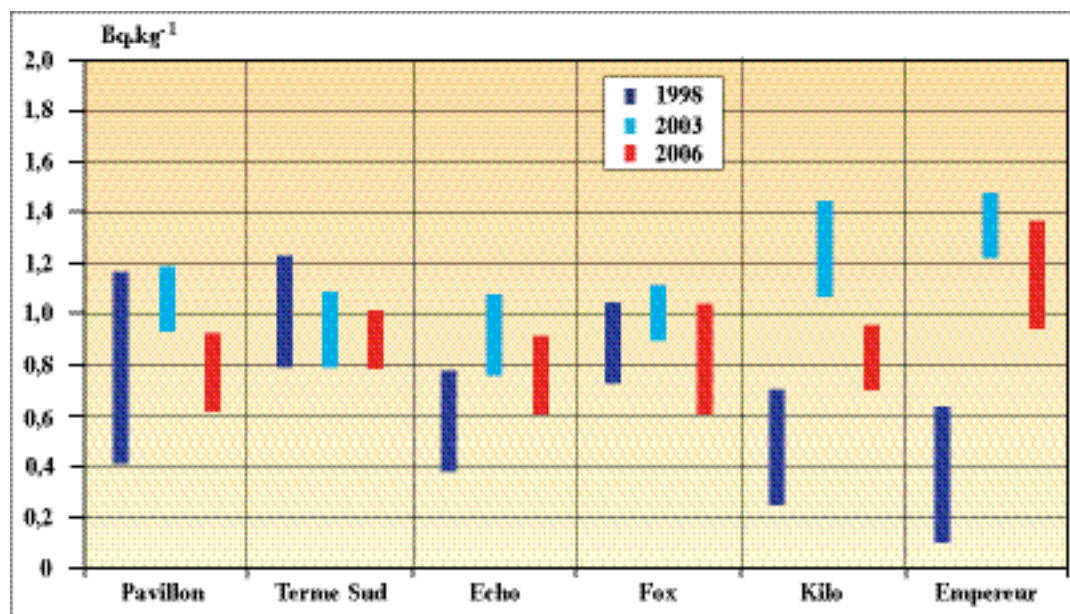


Figure A.18. : Activité ^{226}Ra des sols de Fangataufa depuis 1998.

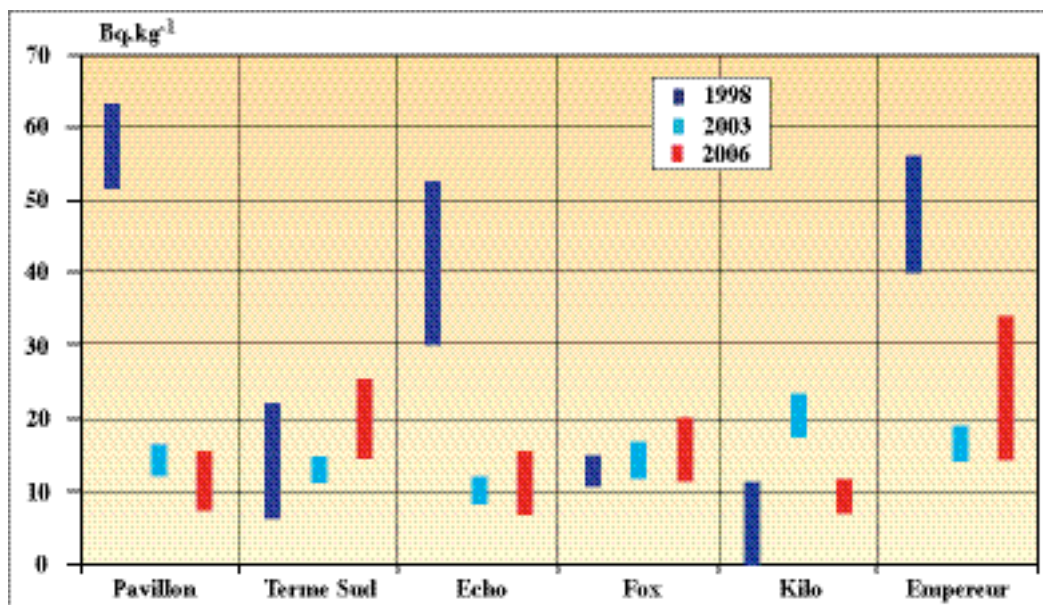


Figure A.19. : Activité ^{210}Pb des sols de Fangataufa depuis 1998.

Comme pour les prélèvements de Mururoa, un important fractionnement de la chaîne naturelle de ^{238}U est observé dans les sols de Fangataufa, les activités du ^{226}Ra étant plus de 10 fois plus faibles que celles du ^{234}Th .

Les valeurs dans les sols à Fangataufa sont proches de celles mesurées dans les sédiments.

Uranium 235

Le tableau A.13. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

| Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ sec) |
|----------------|------------------------------------|
| PAVILLON | 1,04 ± 0,08 |
| TERME SUD | 1,30 ± 0,12 |
| ECHO | 1,52 ± 0,23 |
| FOX | 0,96 ± 0,28 |
| KILO | 1,09 ± 0,60 |
| EMPEREUR | 1,32 ± 0,24 |
| <i>Moyenne</i> | <i>1,21 ± 0,17</i> |

Tableau A.13. : Activité ^{235}U des sols de Fangataufa en 2006.

La figure A.20. présente l'activité des sols en ^{235}U depuis 1998.

En 2006, l'activité moyenne en ^{235}U des sols prélevés aux 6 points de surveillance est de 1,2 Bq.kg⁻¹ sec (de 0,96 à 1,52 Bq.kg⁻¹sec).

Comme pour les sédiments, les valeurs relevées sont légèrement plus élevées à Fangataufa.

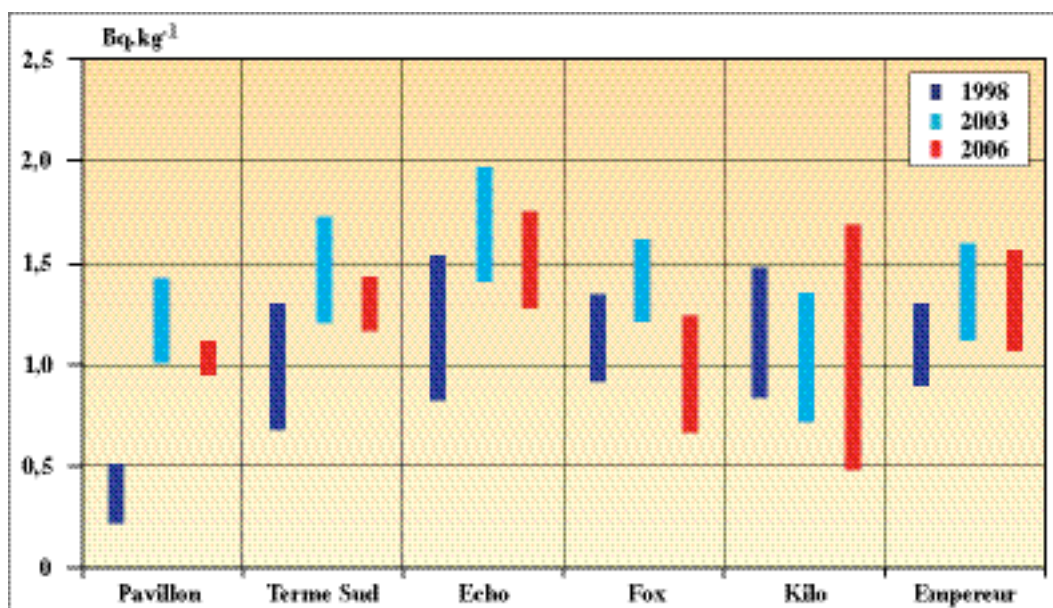


Figure A.20. : Activité ^{235}U des sols de Fangataufa depuis 1998.

Les activités en ^{235}U mesurées sont environ 20 fois plus faibles que celles obtenues pour le ^{234}Th . On peut en conclure qu'il y a équilibre radioactif entre ^{238}U et son descendant ^{234}Th dans les sols, puisque le rapport d'activité $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ 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.

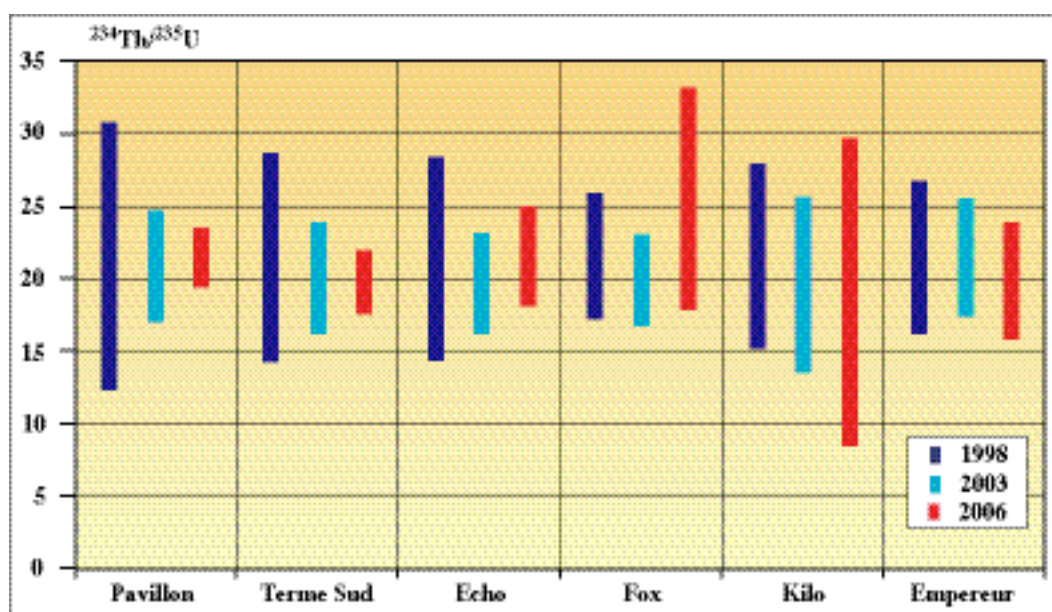


Figure A.21. : Rapport des activités $^{234}\text{Th}/^{235}\text{U}$ des sols de Fangataufa depuis 1998.

Famille naturelle du Thorium 232

La radioactivité des sols en ^{228}Ac (Actinium), radionucléide émetteur γ faisant partie de la famille naturelle du ^{232}Th , est donnée dans le tableau A.15. Les différentes valeurs sont inférieures aux limites de détection.

| Lieux | Activité (Bq.kg^{-1} sec) |
|-----------|-------------------------------------|
| PAVILLON | $\leq 0,22$ |
| 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}Ac des sols de Fangataufa en 2006.

Radioactivité d'origine artificielle

Cobalt 60, Antimoine 125, Césium 137 et Europium 155

Le tableau A.16. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

| Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ sec) | | | |
|-----------|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ⁶⁰ Co | ¹²⁵ Sb | ¹³⁷ Cs | ¹⁵⁵ Eu |
| PAVILLON | ≤ 0,077 | ≤ 0,26 | ≤ 0,071 | ≤ 0,19 |
| TERME SUD | ≤ 0,092 | ≤ 0,30 | ≤ 0,083 | ≤ 0,22 |
| ECHO | ≤ 0,085 | ≤ 0,27 | ≤ 0,072 | ≤ 0,51 |
| FOX | ≤ 0,110 | ≤ 0,37 | ≤ 0,096 | 0,25 ± 0,11 |
| KILO | 0,208 ± 0,045 | ≤ 0,44 | 0,269 ± 0,041 | 1,31 ± 0,50 |
| EMPEREUR | ≤ 0,085 | ≤ 0,092 | ≤ 0,230 | ≤ 0,42 |

Tableau A.16. : Activité ⁶⁰Co, ¹²⁵Sb, ¹³⁷Cs et ¹⁵⁵Eu 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 ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs et ¹⁵⁵Eu des sols depuis 1998.

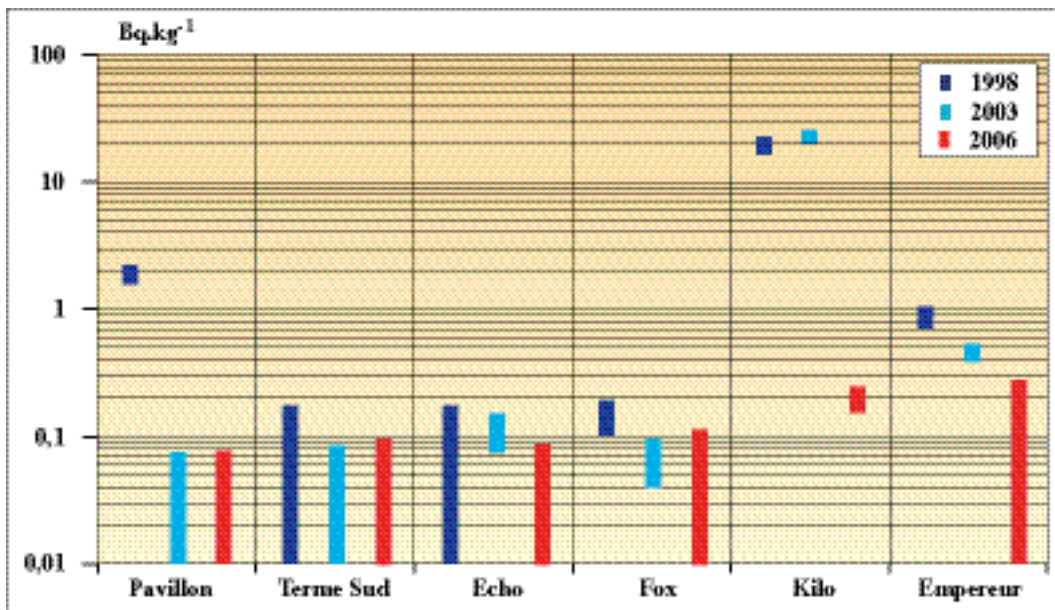


Figure A.22. : Activité ⁶⁰Co des sols de Fangataufa depuis 1998.

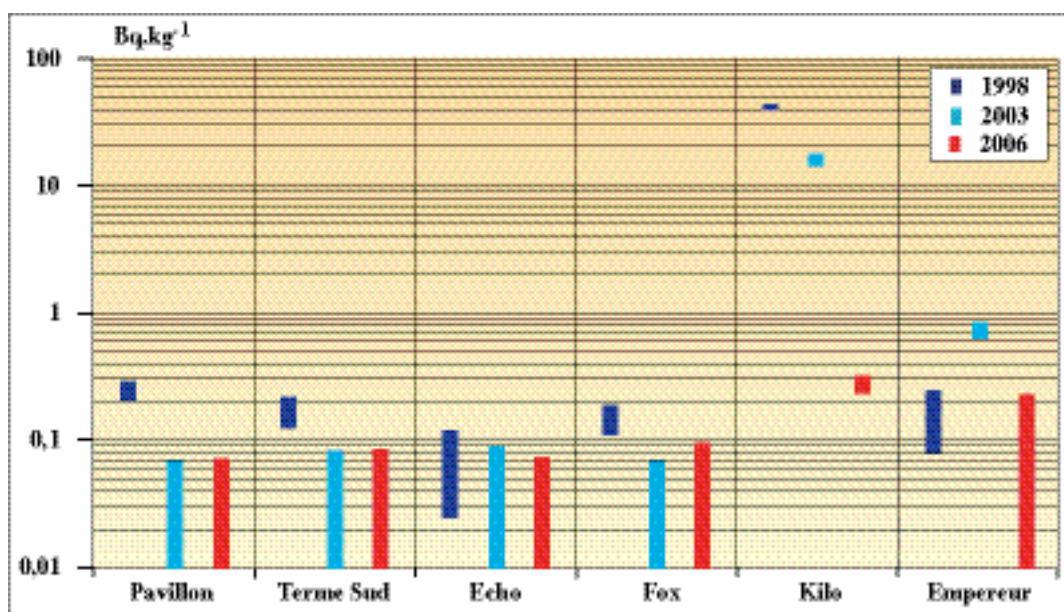


Figure A.23. : Activité ^{137}Cs des sols de Fangataufa depuis 1998.

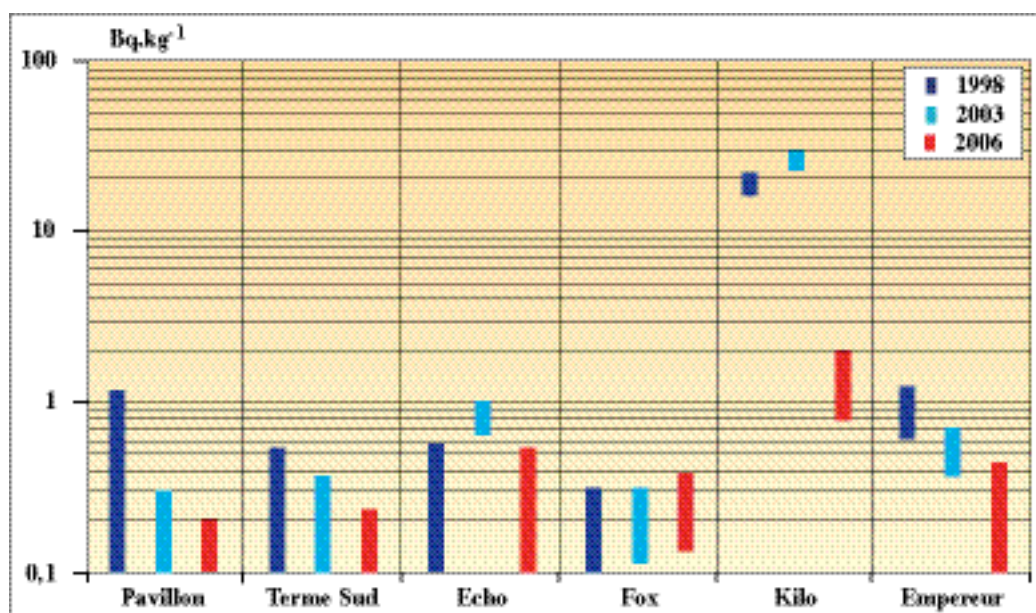


Figure A.24. : Activité ^{155}Eu des sols de Fangataufa depuis 1998.

Strontium 90

Les valeurs mesurées en césium 137 étant inférieures à 1 Bq.kg⁻¹, la recherche du strontium 90 n'a pas été faite.

Plutonium

Le tableau A.17. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

| Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ sec) | | Rapport |
|-----------|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| | ²³⁸ Pu | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu | ²³⁸ Pu/ ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu |
| PAVILLON | 0,19 ± 0,06 | 0,47 ± 0,09 | 0,40 ± 0,15 |
| TERME SUD | 1,02 ± 0,12 | 3,41 ± 0,31 | 0,30 ± 0,04 |
| ECHO | 12,6 ± 1,10 | 37,5 ± 3,1 | 0,34 ± 0,04 |
| FOX | 5,47 ± 0,48 | 15,7 ± 1,3 | 0,35 ± 0,04 |
| KILO | 20,3 ± 1,90 | 57 ± 4,8 | 0,36 ± 0,04 |
| EMPEREUR | 2,12 ± 0,21 | 6,68 ± 0,57 | 0,32 ± 0,04 |

Tableau A.17. : Activité ²³⁸Pu, ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu et rapport ²³⁸Pu/²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu des sols de Fangataufa en 2006.

Les activités en ²³⁸Pu et en ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu des sols prélevés en 2006 varient :
de 0,19 à 20,3 Bq.kg⁻¹ sec pour le ²³⁸Pu
de 0,47 à 57 Bq.kg⁻¹ sec pour le ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu.

Le rapport des activités ²³⁸Pu/²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu 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 ²³⁸Pu et en ²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu depuis 1998 et la figure A.27. le rapport ²³⁸Pu/²³⁹Pu + ²⁴⁰Pu depuis 1998.

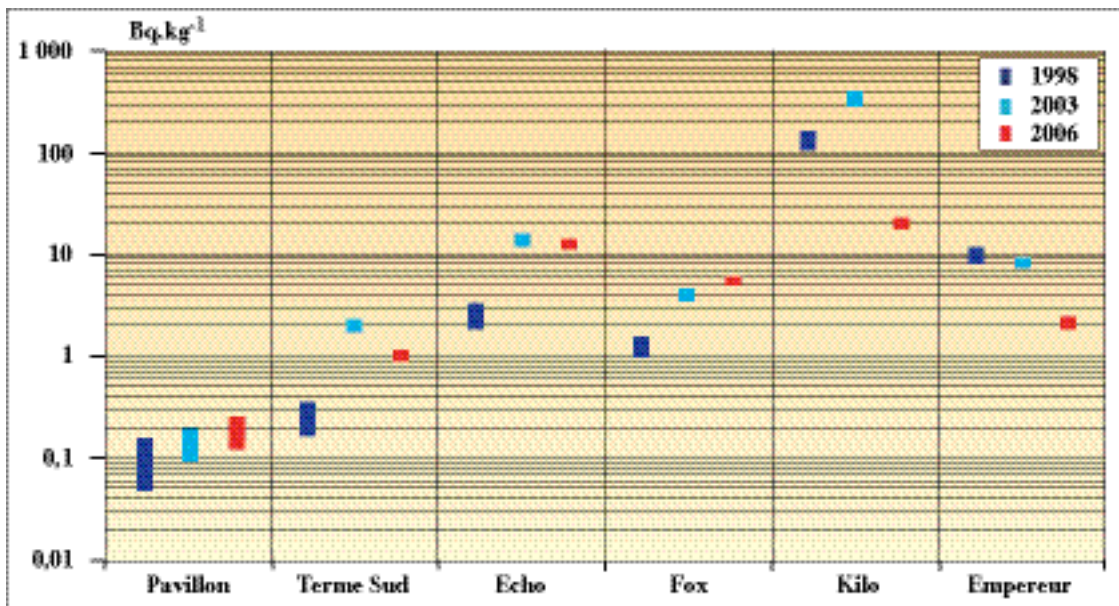


Figure A.25. : Activité ²³⁸Pu des sols de Fangataufa depuis 1998.

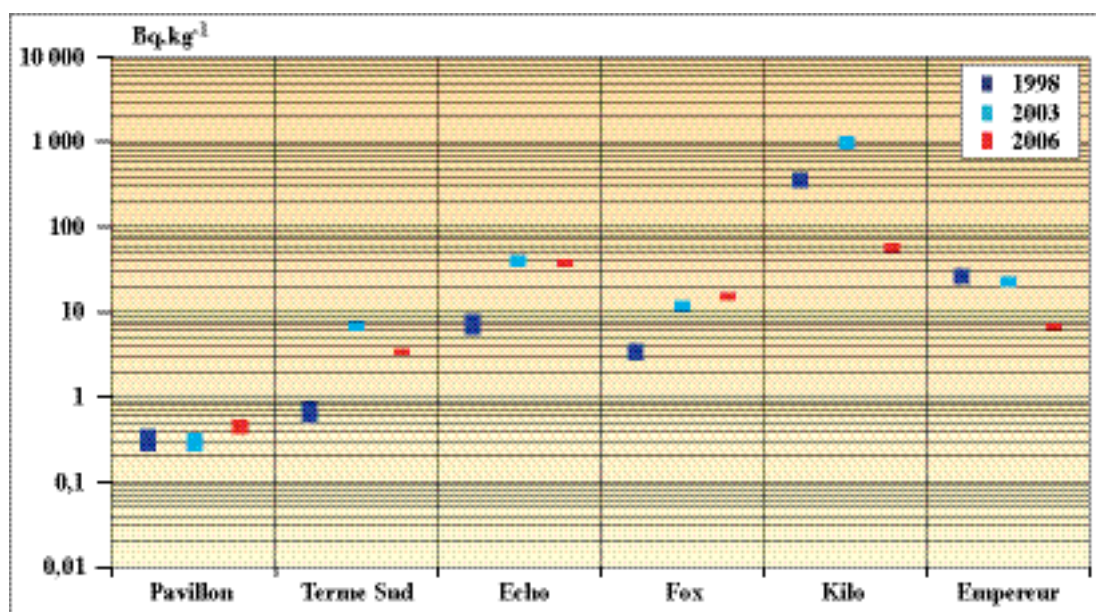


Figure A.26. : Activité $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des sols de Fangataufa depuis 1998.

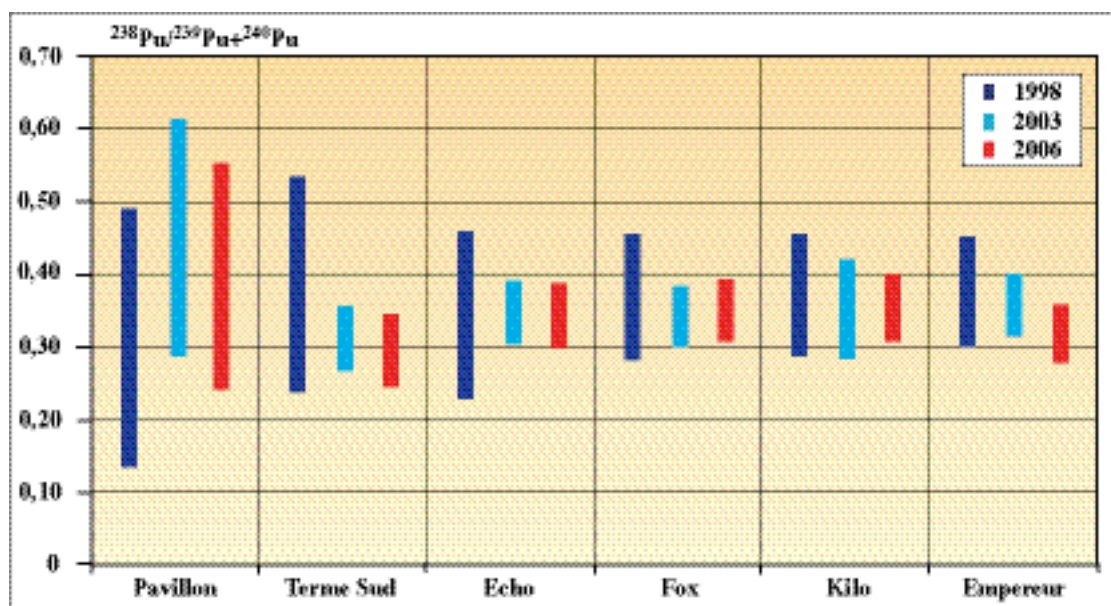


Figure A.27. : Rapport des activités $^{238}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ des sols de Fangataufa depuis 1998.

Américium 241

Le tableau A.18. regroupe les résultats obtenus en 2006 pour les 6 emplacements.

| Lieux | Activité (Bq.kg ⁻¹ sec) |
|-----------|------------------------------------|
| PAVILLON | ≤ 0,14 |
| TERME SUD | ≤ 0,94 |
| ECHO | 2,86 ± 0,35 |
| FOX | 1,26 ± 0,20 |
| KILO | 6,56 ± 0,69 |
| EMPEREUR | 0,61 ± 0,16 |

Tableau A.18. : Activité ²⁴¹Am des sols de Fangataufa en 2006.

La figure A.28. présente les résultats depuis 1998.

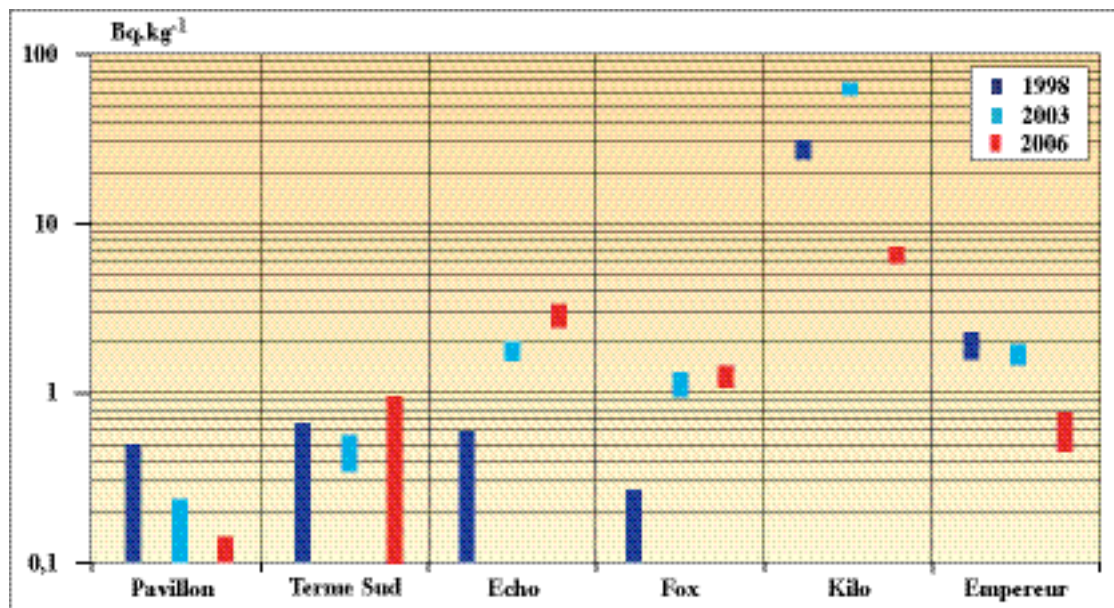


Figure A.28. : Activité ²⁴¹Am des sols de Fangataufa depuis 1998.

Récapitulatif

Les figures A.29. et A.30. présentent les activités des principaux radionucléides naturels (^{40}K , ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb et ^{235}U) et artificiels (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{238}Pu et $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$) détectés dans les sols de Fangataufa en 2006.

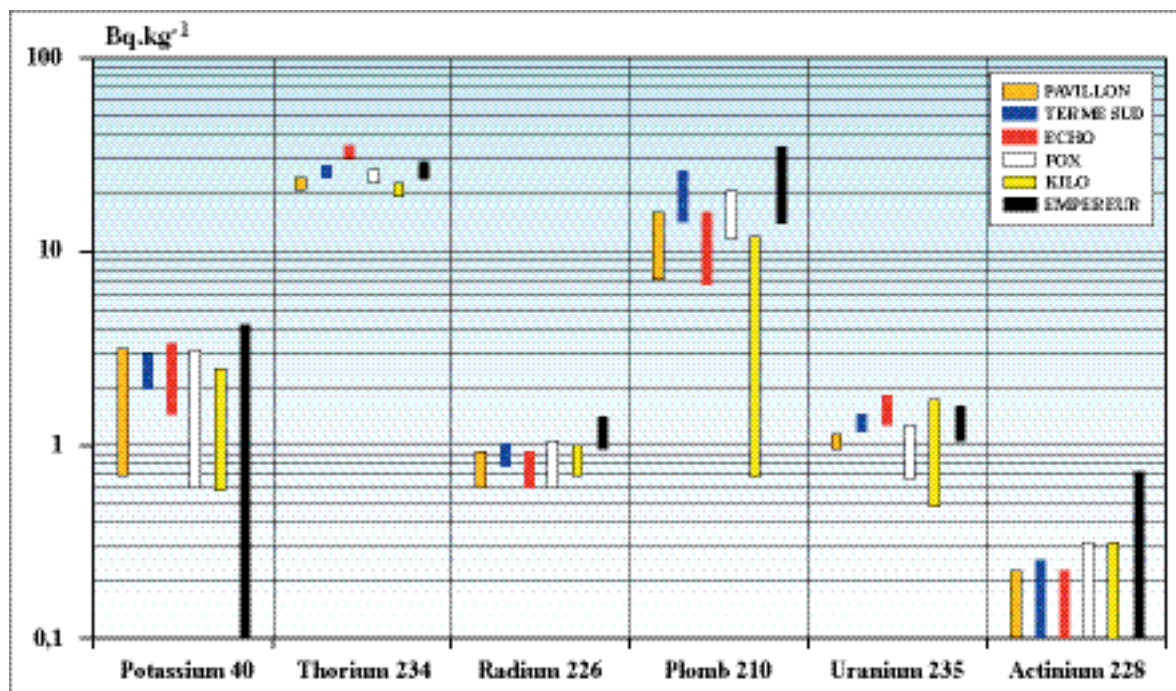


Figure A.29. : Radioactivité naturelle des sols de Fangataufa en 2006.

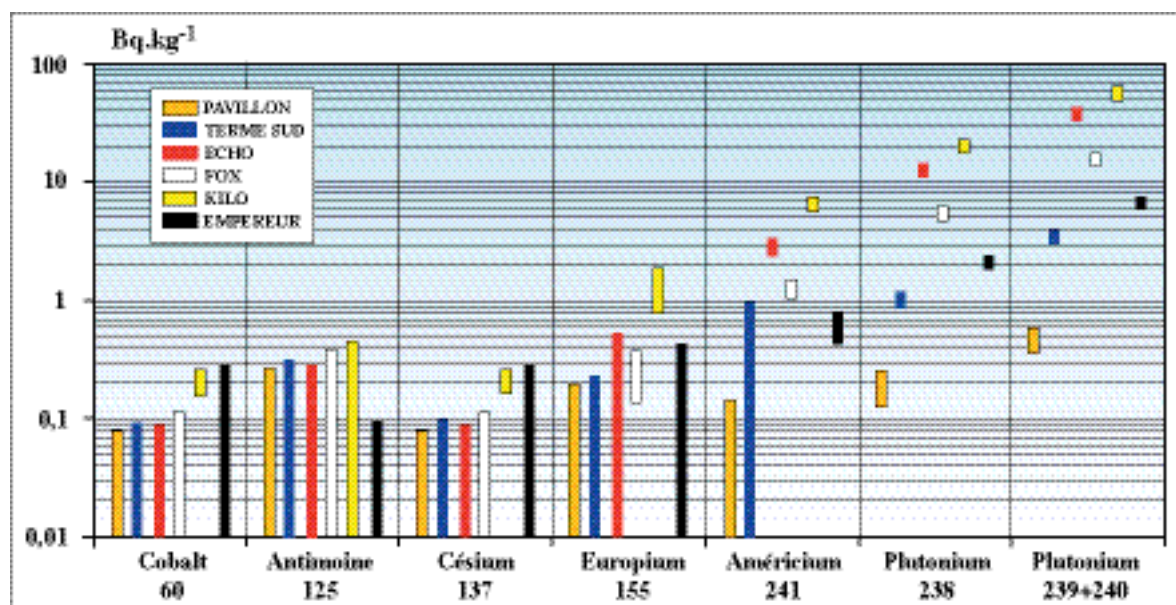


Figure A.30. : Radioactivité artificielle des sols de Fangataufa en 2006.

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 α mais elle ne permet pas de mesurer l'isotope ^{238}Pu (la masse correspondante en ^{238}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.

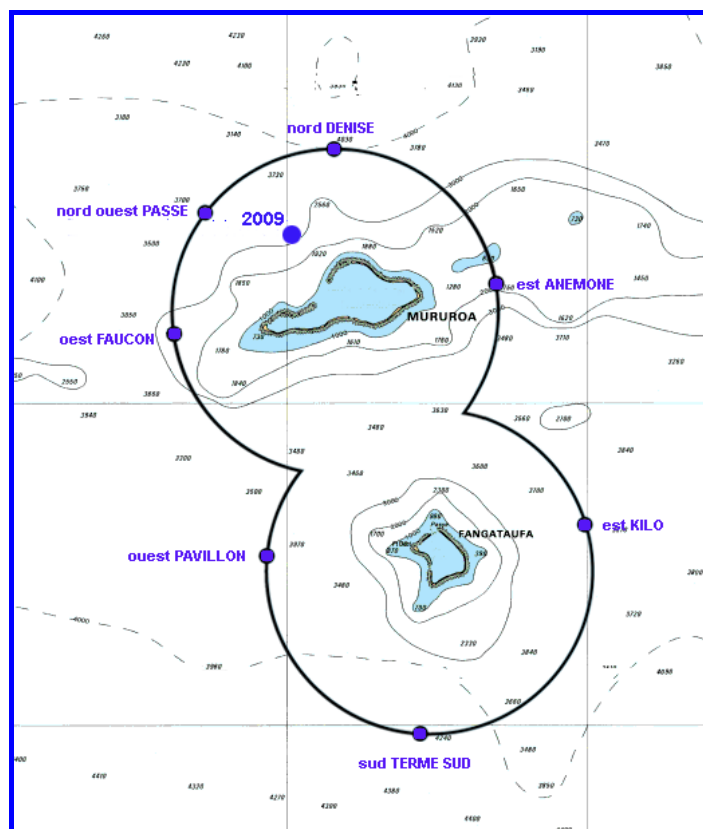


Figure B.1. - Point de prélèvement des eaux océaniques en 2009.

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.

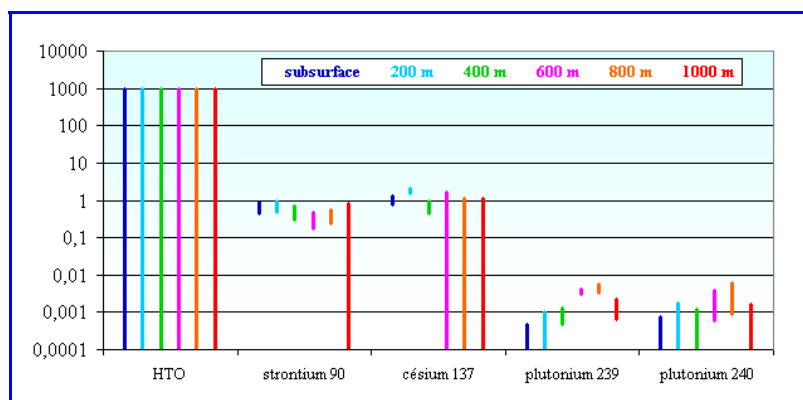
| | Date de prélèvement | Coordonnées géographiques | Profondeur (m) |
|--------------------|---------------------|-----------------------------|----------------|
| au nord de Mururoa | 19/03/2009 | 21°44,23' S 138°59,46' W | subsurface |
| | | | 200 |
| | | | 400 |
| | | | 600 |
| | | | 800 |
| | | | 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 ⁻³) | Césium 137 (Bq.m ⁻³) | Strontium 90 (Bq.m ⁻³) | Plutonium 239 (Bq.m ⁻³) | Plutonium 240 (Bq.m ⁻³) |
|--------------------|----------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| au nord de Mururoa | subsurface | ≤ 1000 | 0,66 ± 0,23 | 1,03 ± 0,27 | ≤ (0,47).10 ⁻³ | ≤ (0,74).10 ⁻³ |
| | 200 | ≤ 1000 | 0,72 ± 0,23 | 1,83 ± 0,34 | ≤ (1,00).10 ⁻³ | ≤ (0,18).10 ⁻² |
| | 400 | ≤ 1000 | 0,49 ± 0,20 | 0,73 ± 0,27 | (0,89 ± 0,42).10 ⁻³ | ≤ (0,12).10 ⁻² |
| | 600 | ≤ 1000 | 0,33 ± 0,16 | ≤ 1,60 | (3,57 ± 0,58).10 ⁻³ | (0,23 ± 0,17).10 ⁻² |
| | 800 | ≤ 1000 | 0,40 ± 0,17 | ≤ 1,10 | (0,46 ± 0,12).10 ⁻² | (0,35 ± 0,26).10 ⁻² |
| | 1000 | ≤ 1000 | ≤ 0,81 | ≤ 1,10 | (1,43 ± 0,77).10 ⁻³ | ≤ (0,17).10 ⁻² |

**Figure B.2. - Activité des eaux océaniques en 2009.**

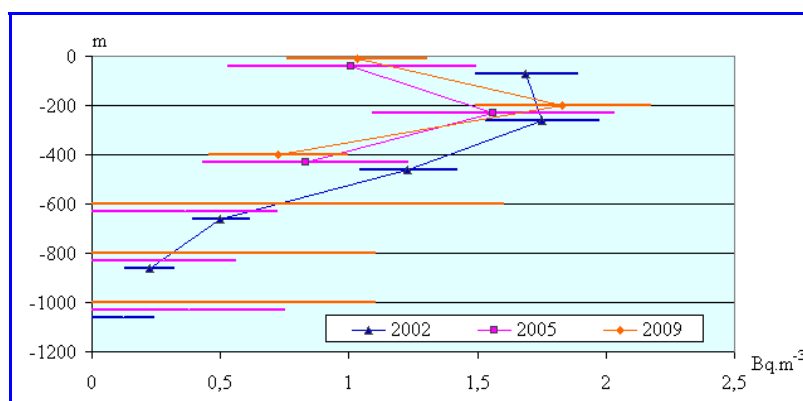
HTO

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 ¹³⁷Cs 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.

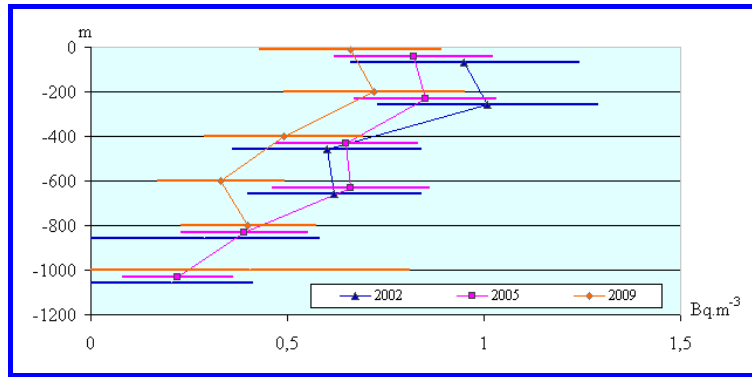


Figure B.4. - Profil de l'activité en ⁹⁰Sr des eaux océaniques depuis 2002.

Rapport Césium 137 / Strontium 90

Les rapports d'activité ¹³⁷Cs / ⁹⁰Sr est donné par le tableau B.3. et la figure B.5.

Tableau B.3. - Rapport en activité ¹³⁷Cs / ⁹⁰Sr des eaux océaniques en 2009.

| | Profondeur (m) | rapport ¹³⁷ Cs / ⁹⁰ 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 |

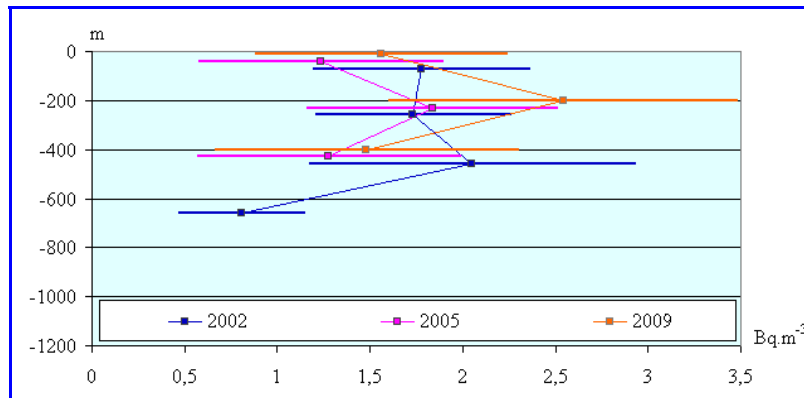


Figure B.5. : Profil du rapport en activité ¹³⁷Cs / ⁹⁰Sr des eaux océaniques depuis 2002.

Plutonium 239 et plutonium 240

Les figures B.6. et B.7. présentent la radioactivité en ²³⁹Pu et ²⁴⁰Pu aux différentes côtes de prélèvement.

Les valeurs 2009 sont du même ordre de grandeur que celles de 2005.

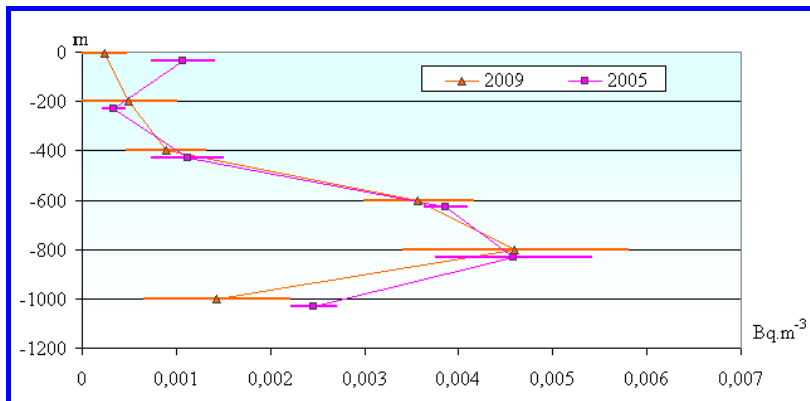


Figure B.6. - Activité ^{239}Pu des eaux océaniques depuis 2005.

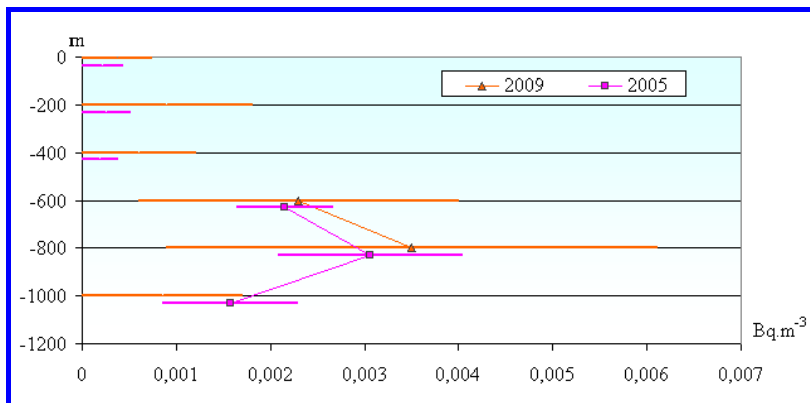


Figure B.7. - Activité ^{240}Pu des eaux océaniques depuis 2005.

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.



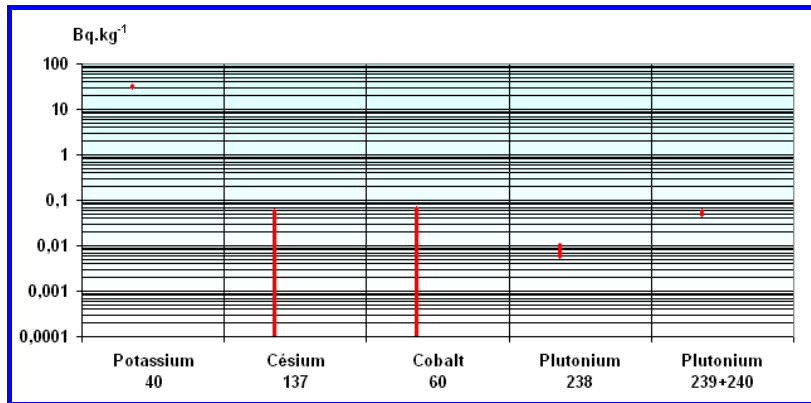
Prélèvement de plancton océanique

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⁻¹ frais) du plancton océanique en 2009.

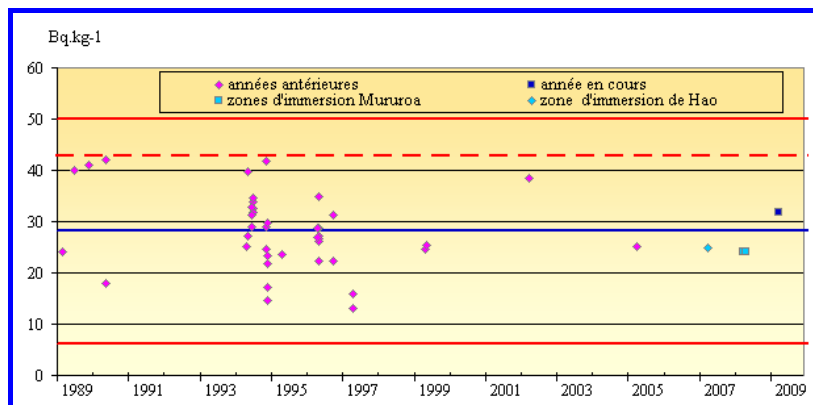
| localisation | date de prélèvement | ⁴⁰ K | ¹³⁷ Cs | ⁶⁰ Co | ²³⁸ Pu | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu |
|--------------------|---------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Au nord de Mururoa | 20/03/2009 | 31,7 ± 1,9 | ≤ 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⁻¹ 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 ⁴⁰K 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 %.

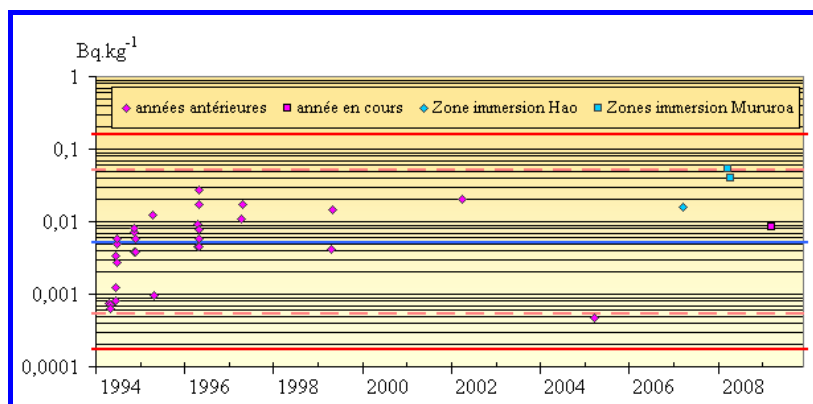


Figure C.3. - Activité du ^{238}Pu du plancton océanique depuis 1994.

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.).

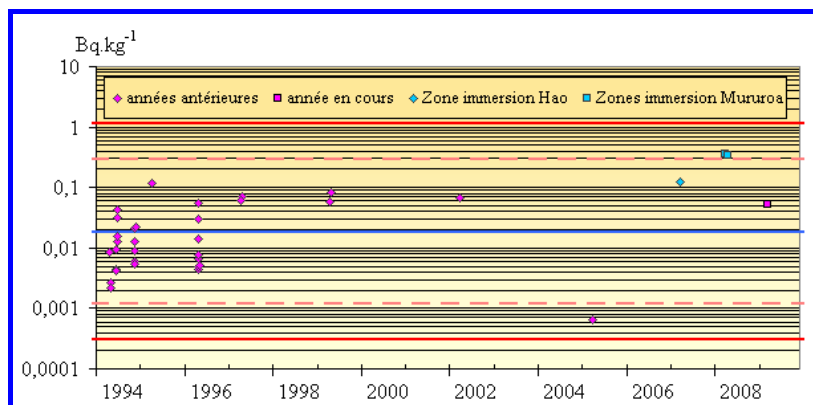


Figure C.4. - Activité du plutonium 239 + plutonium 240 du plancton océanique depuis 1994.

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.).

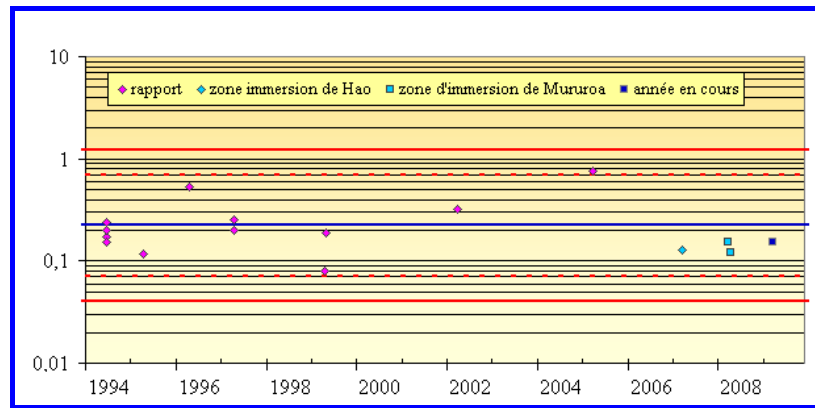


Figure C.5. - Rapport en activité ($^{238}\text{Pu} / (^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu})$) du plancton océanique depuis 1994.

Annexe D

TABLEAUX RECAPITULATIFS DES RESULTATS

Tableau 1 : Prélèvements biologiques en 2010.

| | Localisation | Date | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | ¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹) | ⁹⁰ Sr (Bq.kg ⁻¹) | ⁶⁰ Co (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁸ Pu (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.kg ⁻¹) |
|-------------------|---------------------|------------|---|---|--|--|---|---|
| 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 | ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹) | ¹³⁷ Cs (Bq.kg ⁻¹) | ⁹⁰ Sr (Bq.kg ⁻¹) | ⁶⁰ Co (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁸ Pu (Bq.kg ⁻¹) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.kg ⁻¹) |
|-----------------------------|--------------------|------------|---|---|--|--|---|---|
| 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 | ^7Be (Bq.m ⁻³) | ^{22}Na (Bq.m ⁻³) | ^{40}K (Bq.m ⁻³) | ^{210}Pb (Bq.m ⁻³) |
|-----------|--|---|--|--|
| 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}Cs | ^{238}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 ⁻³) | ⁹⁰ Sr (Bq.m ⁻³) | ¹³⁷ Cs (Bq.m ⁻³) | ²³⁸ Pu (Bq.m ⁻³) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.m ⁻³) |
|---------------------|--------------|-------------|------------|------------------------------|---|--|--|--|
| 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 ⁻³) | ⁹⁰ Sr (Bq.m ⁻³) | ¹³⁷ Cs (Bq.m ⁻³) | ²³⁸ Pu (Bq.m ⁻³) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.m ⁻³) |
|---|--------------|-----|------------|------------------------------|---|--|--|--|
| 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 ⁻³) | ⁹⁰ Sr (Bq.m ⁻³) | ¹³⁷ Cs (Bq.m ⁻³) | ²³⁸ Pu (Bq.m ⁻³) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.m ⁻³) |
|--------------|---------------------|----------------|--------------------------------|--|---|---|---|
| Géo 5 B | 22/04/2010 | 100-102 m | (4,3 ± 0,4) .10 ³ | 5,06 ± 0,87 | 4 ± 0,93 | - | - |
| | | 149-151 m | (4,5 ± 0,4) .10 ³ | 4,81 ± 0,86 | ≤ 2,9 | - | - |
| | | 185-187 m | (4,6 ± 0,4) .10 ³ | 6,1 ± 1 | 3,86 ± 0,96 | - | - |
| | | 215-217m | (4,3 ± 0,4) .10 ³ | 6,04 ± 0,97 | 3,29 ± 0,8 | - | - |
| | | 228-230 m | (4,3 ± 0,4) .10 ³ | 6 ± 1 | 3,01 ± 0,84 | - | - |
| | | 264-266 m | (4,4 ± 0,4) .10 ³ | 5,39 ± 0,9 | 4 ± 1 | - | - |
| Géo 8 B | 24/04/2010 | 107-110 m | (2,37 ± 0,12) .10 ⁵ | (3,78 ± 0,48) .10 ² | (2,46 ± 0,37) .10 ² | - | - |
| | | 158-168 m | (2,99 ± 0,16) .10 ⁵ | (5 ± 0,64) .10 ² | (3,43 ± 0,62) .10 ² | - | - |
| | | 209-212 m | (3,74 ± 0,19) .10 ⁵ | (6,49 ± 0,82) .10 ² | (3,8 ± 0,47) .10 ² | - | - |
| | | 274-278 m | (7,43 ± 0,38) .10 ⁵ | (1,03 ± 0,13) .10 ³ | (5,27 ± 0,79) .10 ² | - | - |
| Géo 10 B | 24/04/2010 | 140-144 m | (2,8 ± 0,14) .10 ⁶ | (8 ± 1) .10 ³ | (3,7 ± 0,45) .10 ³ | - | - |
| | | 164-169 m | (3,1 ± 0,16) .10 ⁶ | (8,3 ± 1) .10 ³ | (4,83 ± 0,45) .10 ³ | - | - |
| | | 228-233 m | (3,43 ± 0,18) .10 ⁶ | (1 ± 0,12) .10 ⁴ | (4,82 ± 0,43) .10 ³ | - | - |
| | | 282-284 m | (3,19 ± 0,16) .10 ⁶ | (1,08 ± 0,13) .10 ⁴ | (5,49 ± 0,44) .10 ³ | - | - |
| | | 307-311 m | (4,57 ± 0,23) .10 ⁶ | (1,66 ± 0,21) .10 ⁴ | (7,37 ± 0,52) .10 ³ | - | - |
| Pieuvre 37 | 26/04/2010 | 95 m | ≤ 1 . 10 ³ | ≤ 1,1 | ≤ 1,3 | - | - |
| | | 107 m | ≤ 1 . 10 ³ | ≤ 1 | ≤ 2,2 | - | - |
| | | 260 m | (1,93 ± 0,1) .10 ⁶ | (3,84 ± 0,48) .10 ³ | (3,71 ± 0,41) .10 ³ | - | - |
| | | 285 m | (2,88 ± 0,15) .10 ⁶ | (6,2 ± 0,77) .10 ³ | (4,94 ± 0,29) .10 ³ | - | - |
| | | 300 m | (3,1 ± 0,16) .10 ⁶ | (7,3 ± 0,91) .10 ³ | (5,63 ± 0,44) .10 ³ | ≤ 0,23 | ≤ 0,35 |
| Murène 27 | 09/05/2010 | 100 m | ≤ 1 . 10 ³ | ≤ 1 | ≤ 2,7 | - | - |
| Whale 30 | 20/04/2010 | 207 m | ≤ 1 . 10 ³ | ≤ 2 | ≤ 2,8 | - | - |
| | | 280 m | ≤ 1 . 10 ³ | | ≤ 2,5 | - | - |
| | | 290 m | ≤ 1 . 10 ³ | | ≤ 2 | - | - |
| | | 330 m | ≤ 1 . 10 ³ | | ≤ 1,9 | - | - |

- non mesuré

Tableau 4 bis : Prélèvements d'eaux souterraines en 2010 (suite).

| Observatoire | Date de prélèvement | Profondeur (m) | HTO (Bq.m ⁻³) | ⁹⁰ Sr (Bq.m ⁻³) | ¹³⁷ Cs (Bq.m ⁻³) | ²³⁸ Pu (Bq.m ⁻³) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.m ⁻³) |
|--------------|---------------------|----------------|----------------------------------|--|---|---|---|
| Tazard 14 | 28/04/2010 | 193 m | (1,92 ± 0,1) .10 ⁵ | 5,73 ± 0,89 | 5,05 ± 0,82 | - | - |
| | | 245 m | (2,03 ± 0,1) .10 ⁶ | (3,39 ± 0,43) .10 ¹ | (1,45 ± 0,4) .10 ¹ | - | - |
| | | 290 m | (2,04 ± 0,11) .10 ⁶ | (4,47 ± 0,57) .10 ¹ | (1,61 ± 0,21) .10 ¹ | ≤ 0,014 | 0,045 ± 0,016 |
| Scalaire 22 | 04/05/2010 | 100 m | (1,47 ± 0,1) .10 ⁴ | (2,66 ± 0,45) .10 ¹ | (3,07 ± 0,51) .10 ¹ | - | - |
| | | 135 m | (2,2 ± 0,1) .10 ⁴ | (3,05 ± 0,41) .10 ¹ | (2,87 ± 0,57) .10 ¹ | - | - |
| | | 192 m | (2,48 ± 1,3) .10 ⁴ | (4,97 ± 0,65) .10 ¹ | (3,14 ± 0,53) .10 ¹ | - | - |
| | | 245 m | (1,65 ± 1,4) .10 ⁴ | (6,69 ± 0,87) .10 ¹ | (2,11 ± 0,27) .10 ¹ | - | - |
| Pieuvre 23 | 05/05/2010 | 100 m | (4,49 ± 0,2) .10 ⁴ | 0,69 ± 0,27 | 2 ± 0,83 | - | - |
| | | 145 m | (4,33 ± 0,2) .10 ⁴ | 1,74 ± 0,49 | ≤ 2,7 | - | - |
| | | 175 m | (4,38 ± 0,24) .10 ⁴ | 2,08 ± 0,59 | ≤ 2,9 | - | - |
| Orque 13 | 02/04/2010 | 99 m | (1,37 ± 0,07) .10 ⁵ | 2,55 ± 0,61 | 2,15 ± 0,74 | - | - |
| | | 143 m | (1,63 ± 0,08) .10 ⁵ | 3,27 ± 0,64 | ≤ 3,2 | - | - |
| | | 178 m | (1,73 ± 0,09) .10 ⁵ | 2,33 ± 0,65 | ≤ 3,1 | - | - |
| Labre 13 | 28/03/2010 | 145 m | ≤ 1 . 10 ³ | ≤ 1,7 | ≤ 3,9 | - | - |
| | | 190 m | ≤ 1 . 10 ³ | | | - | - |
| | | 225 m | (1,7 ± 0,4) .10 ³ | | | - | - |
| Murène16 | 07/05/2010 | 100 m | (3,86 ± 0,2) .10 ⁵ | 7,4 ± 1,3 | ≤ 2,7 | ≤ 0,012 | ≤ 0,025 |
| | | 185 m | (1,23 ± 0,06) .10 ⁶ | (2,93 ± 0,4) .10 ¹ | 1,45 ± 0,7 | - | - |
| | | 230 m | (2,63 ± 0,13) .10 ⁶ | (6,04 ± 0,77) .10 ¹ | ≤ 2,8 | - | - |
| | | 285 m | (2,61 ± 0,13) .10 ⁶ | (6,24 ± 0,81) .10 ¹ | ≤ 2,5 | - | - |
| Krill 23 | 27/04/2010 | 181 m | (4,74 ± 0,24) .10 ⁶ | (4,74 ± 0,59) .10 ² | ≤ 2,8 | - | - |
| | | 193 m | (4,43 ± 0,23) .10 ⁶ | (4,13 ± 0,52) .10 ² | 1,25 ± 0,67 | - | - |
| | | 220 m | (2,37 ± 0,12) .10 ⁶ | (1,75 ± 0,22) .10 ² | ≤ 2,8 | ≤ 0,019 | ≤ 0,02 |
| | | 310 m | ≤ 1,5 . 10 ³ | 0,8 ± 0,47 | 1,52 ± 0,58 | - | - |
| | | 330 m | ≤ 1,5 . 10 ³ | 0,5 ± 0,22 | ≤ 2,4 | - | - |
| | | 345 m | ≤ 1 . 10 ³ | 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 ⁻³) | ⁹⁰ Sr (Bq.m ⁻³) | ¹³⁷ Cs (Bq.m ⁻³) | ²³⁸ Pu (Bq.m ⁻³) | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu (Bq.m ⁻³) |
|---------------|---------------------|----------------|----------------------------------|--|---|---|---|
| Isurus 10 | 30/04/2010 | 260 m | (1,65 ± 0,09) .10 ⁵ | (1,63 ± 0,21) .10 ¹ | 2,5 ± 1,7 | - | - |
| | | 265 m | (1,64 ± 0,09) .10 ⁵ | (1,51 ± 0,2) .10 ¹ | 2,18 ± 0,88 | - | - |
| | | 275 m | (1,64 ± 0,09) .10 ⁵ | (1,71 ± 0,23) .10 ¹ | 1,36 ± 0,68 | - | - |
| | | 315 m | (1,1 ± 0,4) .10 ³ | ≤ 1,7 | 0,98 ± 0,46 | - | - |
| | | 330 m | ≤ 1,5 . 10 ³ | 1,28 ± 0,43 | ≤ 2,9 | - | - |
| | | 345 m | ≤ 1,5 . 10 ³ | ≤ 2,2 | ≤ 3,4 | - | - |
| Flet 08 | 08/05/2010 | 100 m | ≤ 1,5 . 10 ³ | ≤ 3,1 | (2,02 ± 0,29) .10 ¹ | - | - |
| | | 135 m | ≤ 1 . 10 ³ | | 9,9 ± 2,9 | - | - |
| | | 193 m | ≤ 1 . 10 ³ | | 2,95 ± 0,82 | - | - |
| | | 280 m | (1 ± 0,3) .10 ³ | | 2,28 ± 0,59 | - | - |
| Dragon 09 | 08/05/2010 | 162 m | ≤ 1 . 10 ³ | ≤ 1,5 | ≤ 2,3 | - | - |
| | | 205 m | ≤ 1 . 10 ³ | | | - | - |
| | | 258 m | ≤ 1 . 10 ³ | | | - | - |
| Natrice 19 | 16/05/2010 | 200 m | (1,64 ± 0,19) .10 ⁵ | (2,62 ± 8,59) .10 ¹ | ≤ 2,9 | - | - |
| | | 235 m | (1,64 ± 0,27) .10 ⁵ | (5,43 ± 0,69) .10 ¹ | ≤ 2,7 | - | - |
| | | 320 m | (1,4 ± 0,4) .10 ³ | 1 ± 0,37 | ≤ 2,1 | - | - |
| | | 340 m | (1,7 ± 0,5) .10 ³ | 1,46 ± 0,42 | ≤ 2,6 | - | - |
| Fuseau 30 | 12/05/2010 | 193 m | (1,18 ± 0,06) .10 ⁶ | (2,58 ± 0,32) .10 ² | (7,26 ± 0,91) .10 ¹ | non prélevé | non prélevé |
| | | 215 m | (1,1 ± 0,06) .10 ⁶ | (2,31 ± 0,29) .10 ² | (7,73 ± 0,92) .10 ¹ | - | - |
| | | 255 m | (4,03 ± 0,21) .10 ⁵ | (7,82 ± 0,99) .10 ¹ | (2,46 ± 0,57) .10 ¹ | - | - |
| | | 268 m | (4,01 ± 0,21) .10 ⁵ | (7,65 ± 0,97) .10 ¹ | (2,2 ± 0,29) .10 ¹ | - | - |
| Mitre 27 | 12/05/2010 | 233-235 m | (2 ± 0,4) .10 ³ | 1,33 ± 0,41 | 1,39 ± 0,73 | - | - |
| | | 237-239 m | (1,7 ± 0,5) .10 ³ | 0,56 ± 0,4 | ≤ 3,1 | - | - |
| Porcelaine 23 | 14/05/2010 | 203 m | (2,7 ± 0,4) .10 ³ | 1,98 ± 0,95 | ≤ 1,9 | - | - |
| | | 257 m | (1,24 ± 0,08) .10 ⁴ | 0,76 ± 0,49 | ≤ 2,2 | - | - |
| | | 270 m | (1,7 ± 0,1) .10 ⁴ | 1,03 ± 0,43 | ≤ 3 | - | - |

- non mesuré

Tableau 5 : Prélèvements de sable et de sédiments en 2010 (suite).

| Prélèvements | Lieu | Date | ⁴⁰ K | ²³⁴ Th | ²²⁶ Ra (²¹⁴ Pb) | ²¹⁰ Pb | ²³⁵ U | ²³² Th (²²⁸ 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 | ⁶⁰ Co | ¹²⁵ Sb | ¹³⁷ Cs | ¹⁵⁵ Eu | ²⁴¹ Am | ²³⁸ Pu | ²³⁹ Pu + ²⁴⁰ 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 |

