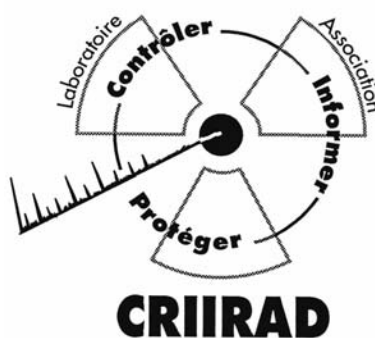




Rapport N° 05-49 V3

**COMPTE RENDU DE LA MISSION PRELIMINAIRE
DE CONTROLES RADIOLOGIQUES
SUR L'ILE DE MANGAREVA ET LES ATOLLS DE
TUREIA ET HAO (POLYNESIE FRANÇAISE)**

**Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD à la demande de la
Commission d'Enquête sur les conséquences des essais nucléaires
aériens**

Date de la mission : 2 au 16 octobre 2005
Date de rédaction : décembre 2005 – janvier 2006

Responsable d'étude : Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire
Responsable prélèvements : Christian COURBON, technicien spécialisé
Conditionnement des échantillons : Jocelyne RIBOUET, assistante laboratoire
Analyse des échantillons : Stéphane PATRIGEON, technicien mesures

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD
471, Avenue Victor Hugo, 26000 Valence
☎ 04 75 41 82 50 📠 04 75 81 26 48
<http://www.criirad.com> contact@criirad.com

SOMMAIRE

1	<u>INTRODUCTION</u>	<u>4</u>
2	<u>OBJECTIFS DE LA MISSION CRIIRAD</u>	<u>7</u>
2.1	GAMBIER (ÎLE DE MANGAREVA ET ILOT DE TARAVAI)	7
2.2	ATOLL DE HAO	8
2.3	ATOLL DE TUREIA	9
3	<u>CONSIDERATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES PRELIMINAIRES</u>	<u>13</u>
3.1	RAPPELS SUR LES NOTIONS DE RADIOACTIVITE.....	13
3.2	LES PRINCIPAUX RADIONUCLEIDES REPANDUS DANS L'ENVIRONNEMENT PAR LES ESSAIS NUCLEAIRES ATMOSPHERIQUES	14
3.2.1	LES CONSTITUANTS DE LA BOMBE	14
3.2.2	LES RADIONUCLEIDES ENGENDRES PAR L'EXPLOSION NUCLEAIRE	16
3.2.3	LISTE PROVISOIRE DES RADIONUCLEIDES LIES AUX ESSAIS.....	17
3.3	METHODOLOGIE DE PRELEVEMENT ET D'ANALYSE EN LABORATOIRE	20
3.3.1	CHOIX DES COMPARTIMENTS DE L'ENVIRONNEMENT A ETUDIER	20
3.3.2	CHOIX DES METHODES ANALYTIQUES	22
4	<u>RESULTATS CONCERNANT LES ILES GAMBIER (MANGAREVA ET TARAVAI) 28</u>	
4.1	DESCRIPTION DE L'ILE DE MANGAREVA.....	28
4.2	OBJECTIFS DE LA MISSION A MANGAREVA	29
4.3	CAROTTAGES DE SOLS.....	30
4.4	CAROTTAGES DE SEDIMENTS.....	35
4.5	SOLS SUPERFICIELS ET MATERIAUX SPECIFIQUES.....	39
4.5.1	OBJECTIFS	39
4.5.2	RECHERCHE DE SITES D'ACCUMULATION POTENTIELLE A RIKITEA	39
4.5.3	RECHERCHE DE SITES D'ACCUMULATION POTENTIELLE A TARAVAI	41
4.5.4	RECHERCHE DE SITES D'ACCUMULATION POTENTIELLE A TAKU.....	41
4.6	FILTRES A AIR DE L'ABRI DE RIKITEA	45
4.7	ANALYSE DE TRANCHES DE COCOTIER	50
4.8	EAU DOUCE ET CHAÎNE ALIMENTAIRE	54
4.8.1	OBJECTIFS	54
4.8.2	ANALYSE DES EAUX.....	54
4.8.3	ANALYSE DE DENREES D'ORIGINE VEGETALE	57
5	<u>RESULTATS CONCERNANT L'ATOLL DE TUREIA</u>	<u>62</u>
5.1	DESCRIPTION DE L'ATOLL	62
5.2	OBJECTIFS	62
5.3	LES 2 BLOCKHAUS	62
5.3.1	INTERIEUR DES BLOCKHAUS	62
5.3.2	POURTOUR IMMEDIAT DES BLOCKHAUS.....	64
5.4	L'ANCIEN CAMPEMENT MILITAIRE	64

5.5	L'ANCIEN SITE CEA.....	67
5.6	ANALYSE D'EAU DE COCO.....	68
6	RESULTATS CONCERNANT L'ATOLL DE HAO.....	70
6.1	DESCRIPTION DE L'ATOLL.....	70
6.2	OBJECTIFS ET CHOIX DES SITES CONTROLES	71
6.3	CONTROLES EFFECTUES SUR L'ANCIEN SITE CEA.....	73
6.3.1	EMPLACEMENT DE LA ZONE DE DECONTAMINATION DES BATEAUX.....	74
6.3.2	EMPLACEMENT DU CENTRE TECHNIQUE DE DECONTAMINATION	74
6.3.3	ANCIENNE FOSSE DE RECUPERATION DES EFFLUENTS LIQUIDES	77
6.3.4	EMPLACEMENT DE L'ANCIENNE PISTE D'ATTERRISSAGE HELICOPTERE	78
6.3.5	EMPLACEMENT DU BATIMENT RADIOCHIMIE	78
6.3.6	EMPLACEMENT D'UN ATELIER PROCHE DU BATIMENT RADIOCHIMIE.....	79
6.3.7	EMPLACEMENT DU B3	80
6.3.8	BORDURE DU LAGON AU DROIT DU SITE CEA.....	81
6.4	CONTROLES EFFECTUES SUR L'ANCIENNE AIRE DE DECONTAMINATION DES AVIONS.....	82
6.5	CONTROLES EFFECTUES A PROXIMITE DE L'AEROPORT ET DU TRANSIT MARITIME.....	87
6.6	ANALYSE D'ALGUES ET CORAIL	88
7	COMMENTAIRES SUR L'EXPOSITION PASSEE INDUITE EN POLYNESIE PAR LES ESSAIS NUCLEAIRES ATMOSPHERIQUES DE 1966 A 1974.....	90
7.1	RAPPELS DE NOTIONS CONCERNANT LA RADIOPROTECTION	90
7.2	RAPPEL DU BILAN OFFICIEL DE LA DIRCEN	94
7.3	NECESSITE DE CONDUIRE UNE EXPERTISE DES DONNEES DOSIMETRIQUES OFFICIELLES	96
7.4	DES DONNEES OFFICIELLES TRES PARTIELLES.....	96
7.5	DES RETOMBEES ENTRAINANT UNE FORTE EXPOSITION EXTERNE	97
7.5.1	RETOMBEES DU 12 JUIN 1971 A TUREIA.....	98
7.5.2	RETOMBEES DU 2 JUILLET 1966 AUX GAMBIER.....	98
7.5.3	SOUS ESTIMATION DE L'EXPOSITION EXTERNE.....	99
7.6	DES RETOMBEES ENTRAINANT UNE FORTE EXPOSITION INTERNE	100
7.7	NECESSITE D'ETUDIER TOUTES LES CONSEQUENCES SANITAIRES PASSES ET FUTURES.....	106
7.7.1	NECESSITE DE REVISER A LA HAUSSE LES FACTEURS DE RISQUE CONCERNANT LES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS	106
7.7.2	NECESSITE DE PRENDRE EN COMPTE TOUTES LES PATHOLOGIES LIEES A L'EXPOSITION AUX RADIATIONS A FAIBLE DOSE.....	109
8	SYNTHESE DETAILLEE DE LA MISSION D'OCTOBRE 2005.....	112
9	PRINCIPALES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	116
9.1	AMELIORER LES CONNAISSANCES SUR LA SITUATION RADIOLOGIQUE ACTUELLE	116
9.2	RECOMMANDATIONS CONCERNANT LE SUIVI DE L'IMPACT SANITAIRE DES ESSAIS	116
9.3	RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES CONCERNANT MORUROA ET FANGATAUFA	117

1 Introduction

L'Assemblée de Polynésie Française a mis en place une Commission d'Enquête sur les conséquences - pour les populations de la Polynésie française- des **essais nucléaires aériens entre 1966 et 1974**. Pendant cette période, 41 tirs nucléaires atmosphériques ont été réalisés sur les sites de Mururoa et Fangataufa.

Cette Commission créée en juillet 2005 dispose de 6 mois pour émettre des recommandations et transmettre un rapport au Gouvernement de Polynésie.

Cette Commission a nommé un expert, monsieur Bruno Barrillot, chercheur au CDRPC (Centre de Documentation et de Recherche sur la Paix et les Conflits). Monsieur Barrillot a sollicité le laboratoire de la CRIIRAD pour la réalisation **d'une mission de contrôles radiamétriques exploratoire** sur les sites de **Mangareva, Tureia et Hao**.

La mission CRIIRAD s'est déroulée du **3 au 14 octobre 2005**. L'équipe CRIIRAD était constituée de Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire et Christian Courbon, technicien spécialisé et accompagnée de Messieurs Bruno Barrillot (chercheur au CDRPC) et John Doom (Coordonnateur international de l'association Moruroa et Tatou). A la fin de première semaine, l'équipe a été rejointe à Mangareva par une délégation de représentants de l'Assemblée de Polynésie Française dont Mme Unutea Hirshon et M. Jacky Bryant, respectivement Présidente et Membre de la Commission d'Enquête, ainsi que par des journalistes de la presse écrite, radio et télévision.

Le [tableau T2-1](#) ci-après donne une liste non exhaustive des personnes qui ont participé aux prélèvements.

Le [tableau T2-2](#) présente une chronologie de la mission.

Au total 55 échantillons ont été ramenés en métropole et réceptionnés au laboratoire de la CRIIRAD le 17 octobre 2005.

Réunions publiques et participation de la population

D'une façon générale, la CRIIRAD a cherché à associer au maximum la population et les élus locaux à la réflexion sur les sites d'échantillonnages. Ainsi, dans le cas de Mangareva, une réunion de travail avec le maire - madame Monique Richeton - et le policier municipal - monsieur Gaston Mahaa - a permis de lancer efficacement la campagne de mesures.

A la demande de la Commission d'Enquête, et dans un esprit de transparence et de pédagogie, la CRIIRAD a effectué une présentation de sa démarche (méthode de travail, choix des sites de prélèvement) et des premiers résultats des contrôles radiamétriques de terrain, lors de réunions publiques organisées avec les municipalités à

- Mangareva -Rikitea (le dimanche 9 octobre 2005),
- Tureia (le lundi 10 octobre),
- Hao (le mercredi 12 octobre).

La mission s'est terminée par une rencontre avec monsieur Oscar Temaru, président de la Polynésie Française, à Papeete, le 14 octobre 2005.

L'équipe CRIIRAD tient à témoigner ici de l'accueil chaleureux réservé par les associations, élus locaux, anciens travailleurs et la population sur tous les sites visités. Elle a été frappée par les attentes fortes manifestées sur place pour que des informations scientifiques indépendantes soient données sur la situation radiologique actuelle et sur l'impact des essais passés. La disponibilité et l'efficacité des polynésiens a grandement facilité la mission.

Le présent document comporte :

- un exposé des objectifs de la mission et un résumé des actions conduites sur chaque site (chapitre 2),
- des informations générales sur les radionucléides et la méthodologie de prélèvement et d'analyse (chapitre 3),
- l'interprétation des résultats des analyses radiologiques et des recommandations concernant la situation radiologique **actuelle** à Mangareva (chapitre 4), Tureia (chapitre 5) et Hao (chapitre 6),
- un commentaire sur la nécessité de revoir les évaluations officielles des doses de radiation subies par les populations de Polynésie Française, pendant la période des essais nucléaires atmosphériques, et de conduire des études exhaustives sur les conséquences sanitaires induites par ces expositions aux rayonnements ionisants (chapitre 7).
- une synthèse détaillée du déroulement et des résultats de la mission d'octobre 2005 (chapitre 8)
- les principales conclusions et recommandations (chapitre 9).

Un document séparé comporte les annexes dont les protocoles d'analyse détaillés ([Annexe 1](#)), certains tableaux de résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma des échantillons collectés ([Annexe 3](#)).



T1 / N°3 Messieurs Christian Courbon (CRIIRAD), Bru no Chareyron (CRIIRAD), John Doom (Moruroa et Tatou) et Bruno Barrillot (Expert de la Commission) à l'atterrissage à Papeete. CRIIRAD, le 3 octobre 2005.



T8 / N20430 : Rencontre avec monsieur le Président Oscar Temaru, en présence de Mme Unutea Hirshon, le 14 octobre 2005, à Papeete



T5 / N°8 : Mme Monique Richeton, maire des Gambier , accueille la délégation de la Commission d'Enquête à Mangareva, le 9 octobre 2005



T5 / N°14 : réunion publique en présence de la délégation de la Commission d'Enquête à Mangareva, le 9 octobre 2005



T5 / N°141 : réunion publique en présence de la délégation de la Commission d'Enquête à Tureia, le 10 octobre

2 Objectifs de la mission CRIIRAD

Dans le cadre des discussions préliminaires entre la CRIIRAD et la Commission d'Enquête, il était prévu que la mission porte uniquement sur la situation radiologique actuelle sur **l'atoll de Hao**.

Finalement, la Commission a souhaité concentrer les efforts sur l'étude de la situation de l'île de **Mangareva** (archipel des Gambier) et inclure une courte visite exploratoire à **Tureia**.

La localisation des ces 3 îles figure sur la [carte C1](#) ci-dessous.

Les objectifs scientifiques, différents pour les 3 sites, sont résumés ci-après.

2.1 Gambier (Île de Mangareva et îlot de Taravai)

L'île de Mangareva appartient à l'archipel des Gambier situé à environ **600 km à l'est / sud-est de Moruroa**. Elle a été exposée, d'après les documents officiels, à des retombées radioactives importantes, en particulier en **1966 et 1971** (cf. revue Damoclès N°112-114).

La mission CRIIRAD avait 2 objectifs :

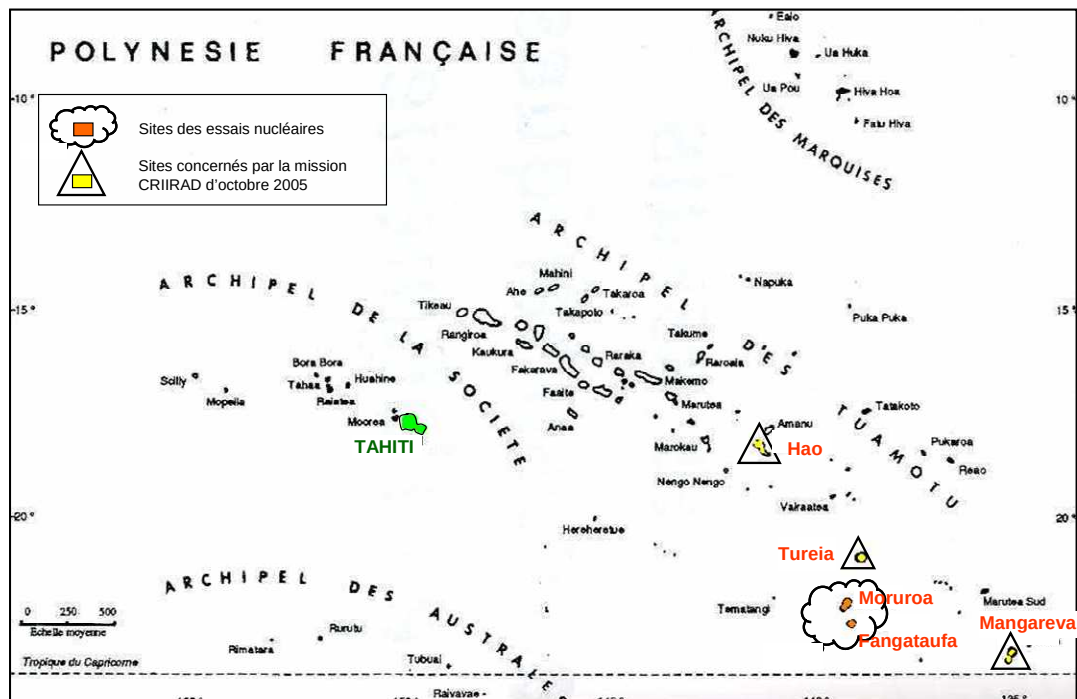
1. Vérifier le niveau de contamination résiduelle de **l'environnement terrestre** par les retombées associées aux essais nucléaires atmosphériques des années 1966 à 1974. Les échantillonnages ont porté sur les sols et sédiments, les eaux douces et certains végétaux.
2. tenter de recueillir des résultats analytiques permettant d'appréhender l'intensité de la contamination à l'époque des retombées. Dans ce but, des mesures en laboratoire ont été effectuées sur les strates inférieures des carottages de sol et sédiments, et dans des milieux accumulateurs (filtres à air de l'époque, sols soumis au gouttage de toitures, section du tronc d'un cocotier). Il s'agissait de rechercher des radionucléides à vie longue qui pourraient subsister dans l'environnement, du fait des retombées radioactives des années 60-70 sur cette île (produits de fission comme le césium 137 et le strontium 90, isotopes du plutonium, autres transuraniens comme l'américium 241, carbone 14, tritium organiquement lié, etc.).

L'équipe CRIIRAD, présente aux Gambier du **4 au 9 octobre 2005**, a utilisé un scintillomètre très sensible afin de vérifier systématiquement le niveau de rayonnement gamma au contact des sols, à proximité des anciennes installations (blockhaus militaire à Taku et abri pour la population à Rikitea) ou sur des sites d'accumulation potentielle par ruissellement (zones de gouttage de toiture, caniveaux, points bas de certains bassins versants).



T2 / N°183 / Vue, depuis le lagon de Mangareva, du hangar ayant servi d'abri pour la population, à Rikitea, à la fin des années 1960. CRIIRAD le 6 octobre 2005.

Carte C1 : localisation des principales îles ou atolls faisant l'objet de la mission CRIIRAD



2.2 Atoll de Hao

L'atoll de Hao, situé à 920 km à l'est de Tahiti et à environ **460 km au nord-ouest de Moruroa** constituait la base arrière du Centre d'Expérimentations du Pacifique (CEP).

Dans le cas de HAO, il ne s'agissait pas pour la CRIIRAD d'effectuer des échantillonnages permettant de statuer sur l'intensité des retombées liées aux essais atmosphériques, mais de réaliser des contrôles radiamétriques préliminaires (mesure du niveau de rayonnement gamma) sur certains des **anciens sites militaires et du CEA** (Commissariat à l'Energie Atomique) susceptibles de présenter une contamination résiduelle, du fait de leur utilisation passée.

Sur la base de la documentation recueillie par le CDRPC, et compte tenu de la durée de la mission (**2,5 jours sur site**), l'équipe CRIIRAD a concentré ses recherches sur un nombre limité de sites : l'aire de décontamination des avions, l'aire de décontamination des bateaux, l'emplacement de l'ancien Centre Technique de Décontamination, le bâtiment radiochimie (où étaient traités les prélèvements effectués dans les « nuages radioactifs ») et le blockhaus B3 (où était assemblée la bombe).

Compte tenu de la destruction des bâtiments et de la repousse de la végétation, il a été difficile de localiser certains des bâtiments, même avec le soutien d'anciens travailleurs du site.

Quelques sondages exploratoires ont été effectués au tractopelle afin de tenter de retrouver d'anciennes canalisations susceptibles d'être contaminées.

Les prélèvements ont porté en priorité sur les matériaux situés au niveau des sites à risque :

- 9 échantillons solides (de type bétons, remblais, matériaux) choisis parce qu'ils présentaient un niveau radiamétrique sensiblement supérieur au bruit de fond naturel ou pour vérifications,
- 1 échantillon d'eau saumâtre, prélevé en fond de fouille, au droit de l'ancien bâtiment radiochimie.

Afin de tenir compte des inquiétudes formulées par la population lors de la réunion publique du 12 octobre, un échantillonnage de coraux et d'algues a été effectué dans le lagon.

2.3 Atoll de Tureia

L'atoll de Tureia situé à **115 km au nord de Moruroa** a été l'objet, d'après les documents officiels, de retombées radioactives importantes, en particulier en 1967 et 1971.

Compte tenu de la difficulté d'accès à cet atoll (faible dimension de la piste d'atterrissage), et de la durée globale de la mission, il n'était pas prévu initialement de se rendre à Tureia.

A la demande de la Commission, il a finalement été possible de disposer de l'avion ATR de la Présidence de Polynésie française pour organiser une courte mission exploratoire à Tureia (3 heures in situ le 10 octobre 2005, lors du transfert de Mangareva à Hao).

Des mesures de rayonnement gamma ont été effectuées principalement dans et autour des anciens Blockhaus qui permettaient de protéger les militaires et la population contre l'irradiation externe lors des explosions atmosphériques (murs de 60 cm d'épaisseur).

Compte tenu de la très courte durée de la mission, le nombre de prélèvements est très limité : sol correspondant à une anomalie radiamétrique, sédiments en fond de citerne de récupération des eaux pluviales et eau de coco.

Note : dans le projet initial, il était envisagé de saisir l'occasion de cette mission de contrôle pour former aux techniques du contrôle radiamétrique de terrain et de l'échantillonnage un ou plusieurs représentants choisis par les partenaires Polynésiens. Ces représentants pourraient ainsi réaliser sur le long terme des contrôles préliminaires et échantillonnages sur d'autres sites. Ce volet de la mission a finalement été abandonné.

Note : il est utile de rappeler également que la mission confiée à la CRIIRAD ne portait pas sur la situation radiologique à Moruroa et Fangataufa, ni sur l'impact radiologique spécifique sur les travailleurs, ni sur la situation radiologique du milieu marin en général.

Tableau T2-1 : liste non exhaustive des personnes ayant apporté leur concours à la réalisation de la mission

Prénom Nom	Qualité
Unutea Hirshon	Présidente de la Commission d'Enquête
Jacky Bryant	Représentant à l'Assemblée de Polynésie Française, membre de la Commission d'Enquête
Bruno Barrillot	Expert au CDRPC, expert près la Commission d'Enquête
Christophe Zebrowski	Conseiller auprès de la Présidente de la Commission d'Enquête
John Doom	Coordinateur International de Moruroa et Tatou
Monique Richeton	Tavana (Maire) de Mangareva
Gaston Mahaa	Policier Municipal à Mangareva
Léon Paheo	Habitant de Taravai
Papa Daniel Teakarotu	Ancien employé du SMCB à Mangareva
Dominique Devaux	Ancien météorologue à Mangareva
Benoît Urarii	Pension Bianca et Benoît
Jacob Puputauki	Habitant de Taku
Léon Pirioutua	Conducteur truck à Hao
Max Tapotofarerani	Adjoint au maire à Hao
Raymond Pia	Ancien travailleur à Hao (1971-1977), membre de Moruroa et Tatou
Monsieur Kavera	Ancien travailleur CEP à Hao

Tableau T2-2 : chronologie de la mission : Papeete et Gambier (Mangareva, Taravai)

Date	Lieu	Action	Personnes présentes en plus de l'équipe CRIIRAD
Dimanche 2 octobre	Voyage de Valence à Papeete	Départ Valence 11H	
Lundi 3 octobre	Papeete	Atterrissage Papeete 6H30. Réunion de coordination avec M. Christophe Zebrowski, Bruno Barrillot et John Doom dans le bureau de la Commission d'Enquête	CZ, BB, JD
Lundi 3 octobre	Papeete	Réunion de coordination avec M. Bruno Barrillot, John Doom et Raymond Pia dans le bureau de Moruroa et Tatou	BB, JD, RP
Mardi 4 octobre	Transfert de Papeete à Mangareva		BB, JD
Mardi 4 octobre	Mangareva (Gambier)	Repérages sur l'île de Mangareva : Rikitea, Gatavake et Taku	BB, JD
Mercredi 5 octobre	Mangareva (Gambier)	Réunion de travail avec Mme Monique Richeton (Maire) et M. Gaston Mahaa (Policier Municipal)	MR, GM, BB, JD
Mercredi 5 octobre	Mangareva (Gambier)	Repérages à Rikitea et Taku avec Papa Daniel, ancien employé au SMCB	GM, PD, JD
Mercredi 5 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement de sédiment (S1), torrent de Vaipapa, au nord de Taku	GM, PD, JD
Mercredi 5 octobre	Mangareva (Gambier)	Contrôles radiométriques autour de l'ancien Blockhaus à Taku	GM, BB, JD
Mercredi 5 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement de terre (T2) autour de l'ancien Blockhaus à Taku	GM, BB, JD
Mercredi 5 octobre	Mangareva (Gambier)	Carottage de sol (T3-T4-T5) devant l'Eglise Saint-Joseph à Taku	GM, BB, JD
Mercredi 5 octobre	Mangareva (Gambier)	Carottage de sédiments (S2-S3-S4) dans un caniveau à Taku	GM, BB, JD
Jeudi 6 octobre	Taravai (Gambier)	Contrôles radiométriques autour de l'église Saint-Gabriel	GM, BB, JD
Jeudi 6 octobre	Taravai (Gambier)	Prélèvement d'un sol soumis au gouttage (T6) au droit de l'église Saint-Gabriel	
Jeudi 6 octobre	Taravai (Gambier)	Prélèvement d'eau de coco (LC1) et pulpe de coco (PC1)	LP, GM, BB, JD
Jeudi 6 octobre	Taravai (Gambier)	Prélèvement d'eau de pluie (EP1)	BB
Jeudi 6 octobre	Taravai (Gambier)	Carottage de sol (T7-T8-T9) près des ruines d'une ancienne église	GM, BB, JD
Jeudi 6 octobre	Taravai (Gambier)	Carottage de sédiments d'un torrent (S5-S6-S7) près des ruines d'une ancienne église	GM, BB, JD
Jeudi 6 octobre	Mangareva (Gambier)	Repérage Cocotier et discussion M. Dominique Deveau, ancien météorologue	GM, BB, JD
Jeudi 6 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement soupe de corail (SC1) à Gatavake	BB, JD
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Abattage et échantillonnage d'une tranche de Cocotier (CO1) à Rikitea	GM, BB, JD
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Contrôles radiométriques dans et autour de l'abri population à Rikitea	BB, JD
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Démontage à la pelle mécanique des anciens systèmes de filtration de l'air de l'abri population à Rikitea	BB, JD
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement de charbon actif (CA1 et CA2) et filtre Millipore (MP1) des anciens systèmes de filtration de l'air de l'abri population à Rikitea	BB, JD
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Images RFO des prélèvements des charbon actif des anciens systèmes de filtration de l'air de l'abri population à Rikitea	BB, JD, CD
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Images RFO des prélèvements d'eau des captages de source (E2) au Réservoir de la municipalité de Rikitea	BB, JD, CZ, GM, CD
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvements d'eau des forages (E3) au Réservoir de la municipalité de Rikitea	BB, JD, CZ, GM
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Images RFO des prélèvements de terre (T10) entre les dalles du toit d'un portique du vivier du roi à Rikitea	BB, JD, GM, CD
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Images RFO des prélèvements de sol (T11) au fond d'un trou à Popoi près de la Cathédrale à Rikitea	GM, CD
Vendredi 7 octobre	Mangareva (Gambier)	Images RFO du carottage de sol (T12-T13-T14) devant la chapelle Sainte-Anne à Rikitea	CD

Tableau T2-2 bis : chronologie de la mission Gambier (Mangareva) et Tureia

Samedi 8 octobre	Mangareva (Gambier)	Images RFO devant Blockhaus à Taku	CD
Samedi 8 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement de terre (T15) à l'angle sud-est du Blockhaus à Taku	-
Samedi 8 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement de terre (PT1) au fond de la prise de terre du Blockhaus à Taku	-
Samedi 8 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement de fibro-ciment (FC1) dans la gouttière du Blockhaus à Taku	-
Samedi 8 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement de terre (T16) dans le décanteur des eaux de lavage du sol d'un ancien bâtiment militaire en tôle à Taku	-
Samedi 8 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement de Manioc (MAN1) près de l'Eglise Saint-Joseph à Taku	JP
Samedi 8 octobre	Mangareva (Gambier)	Carottage de sol (S8-S9-S10) et prélèvement de Tarua (TARUA 1) dans la zone de débordement d'une rivière à Gatavake (avec Papa Daniel et M. Dominique Deveau, ancien Météorologue)	PD, DD
Samedi 8 octobre	Mangareva (Gambier)	Prélèvement de ciment poreux (BA 1) du caniveau de récupération des eaux de lavage du toit de l'abri population à Rikitea	-
Dimanche 9 octobre	Mangareva (Gambier)	15H : Accueil délégation des représentants et membres de la Commission dont Mme Unutea Hirshon et M. Jacky Bryant et accueil journalistes : RFO-Radio, TNTV, "La dépêche de Tahiti", "Les Nouvelles de Tahiti", Agence Tahiti Presse	UH, JB, BB, JD, CZ, MR, GM, CD, journalistes
Dimanche 9 octobre	Mangareva (Gambier)	Homogénéisation des échantillons et préparation des 2 malles prises en charge par l'ATR Présidentiel	-
Dimanche 9 octobre	Mangareva (Gambier)	18H30 : Réunion publique à l'école de Rikitea en présence de membres de la Commission, représentants et journalistes. Présentation par B. Chareyron des travaux en cours sur power-point	UH, JB, BB, JD, CZ, MR, GM, CD, journalistes
Lundi 10 octobre	Tureia	Mesures radiamétriques dans et autour des 2 blockaus, sur l'ancienne piste hélicoptère, dans un Algeco militaire, sur les ruines de 3 bâtiments du site CEA	BB, JD, UH, JB, CD, habitants de Tureia
Lundi 10 octobre	Tureia	Prélèvement de sol (TU1) à proximité du blockaus "population" sur un secteur présentant un excès de rayonnement (facteur 2 à 4) par rapport au niveau naturel classique, prélèvement de sédiment (TU 2) au fond de l'ancien réservoir "eaux pluviales" du site CEA, prélèvement d'eau de coco (LC 2)	BB, JD, UH, JB, CD, habitants de Tureia

Tableau T2-2 ter : chronologie de la mission : Hao et Papeete

Lundi 10 octobre	Transfert sur Hao	Atterrissage à HAO à 16 H, rencontre avec cinéastes de Felixfilm	BB, JD, UH, JB, RP
Mardi 11 octobre	Hao	Contrôles radiamétriques et repérages sur l'ancien site CEA (piste hélicoptère, zone décontamination bateaux, laverie, ancien laboratoire radiochimie, bordure lagon)	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, MT, TJ, HF
Mardi 11 octobre	Hao	Contrôles radiamétriques et repérages sur l'ancienne zone de décontamination des avions et la bordure côté océan	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, MT, TJ, HF
Mardi 11 octobre	Hao	Prélèvement de charbon actif (CA 3) dans les remblais, côté océan, au droit de l'ancienne zone de décontamination des avions	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, MT, TJ, HF
Mardi 11 octobre	Hao	Prélèvement de matériaux solidifiés (MV 1), côté océan, dans le secteur de déversement des surplus béton	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, MT, TJ, HF
Mercredi 12 octobre	Hao	Fouilles au tractopelle et contrôles radiamétriques au niveau de vannes aboutissant à un ancien atelier du site CEA	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, MT, TJ, HF
Mercredi 12 octobre	Hao	Contrôles radiamétriques sur les ruines du Blockaus B4 (site CEA)	TJ, HF
Mercredi 12 octobre	Hao	Fouilles au tractopelle et contrôles radiamétriques dans les ruines de l'ancien laboratoire de radiochimie du site CEA, prélèvement d'eau (E4) en fond de fouille	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, MT, TJ, HF, K
Mercredi 12 octobre	Hao	Fouilles au tractopelle et contrôles radiamétriques au niveau de l'ancienne buanderie-laverie et de la zone de décontamination des bateaux, fouilles au tractopelle en limite de la laverie et recherche d'une buse d'évacuation des effluents côté lagon. Prélèvement de terre (LAV 1) sur le béton de la laverie. Prélèvement de béton superficiel (BAT 1) sur l'ancienne aire de décontamination des bateaux,	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, MT, TJ, HF, K
Mercredi 12 octobre	Hao	Contrôles radiamétriques complémentaires au niveau de l'ancienne aire de décontamination des avions. Prélèvement de remblais (RB1 et SCRB1) au droit de l'ancienne aire de décontamination. Prélèvement de béton (RB2 et RB3) en bordure nord-est de l'ancienne aire de décontamination des avions	BB, JD, JB, RP, TJ, HF
Mercredi 12 octobre	Hao	Réunion publique à la salle municipale de Hao (18H30-21H30), présentation par B. Chareyron des travaux en cours sur power-point. Récupération d'un morceau de verre remis par une habitante et provenant des bordures du lagon (VTR1)	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, TJ, HF
Jeudi 13 octobre	Hao	Prélèvement de corail vivant (COR1) et algues (ALG1) dans le lagon au droit de la pension Flores	-
Jeudi 13 octobre	Hao	Contrôles radiamétriques rapides sur l'ancienne aire d'exposition d'un avion vautour (aéroport) et au niveau de l'aire de transit maritime (ancres, chaînes, moteurs) et des stockages de ferrailles, gravats et blocs béton au nord de l'aire de transit maritime	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, TJ, HF
Jeudi 13 octobre	Transfert Papeete	Trajet Hao vers Papeete	BB, JD, UH, JB, RP, LPI, TJ, HF
Jeudi 13 octobre	Papeete	19H : B. Chareyron invité Plateau TV sur RFO	CZ
Vendredi 14 octobre	Papeete	11H15 : Réunion de travail avec Christophe Zebrowski	CZ
Vendredi 14 octobre	Papeete	Préparation des malles et pesée	JD
Vendredi 14 octobre	Papeete	18H30 Rencontre avec le président Oscar Temaru	UH, JD, BB, TJ, HF, RM
Samedi 15 octobre	Transfert vers Métropole	Départ Papeete 8H30	BB, JD
Dimanche 16 octobre	Transfert vers Métropole	Arrivée Valence 22H30	-

3 Considérations scientifiques et techniques préliminaires

3.1 Rappels sur les notions de radioactivité

En l'absence d'une contamination d'origine artificielle, il existe dans la nature des éléments radioactifs appelés aussi radionucléides ou radio isotopes. Les radionucléides sont caractérisés par leur période radioactive, leur mode de désintégration et le type de rayonnements ionisants qu'ils émettent.

La période radioactive (période physique) est le temps au bout duquel la moitié des radionucléides s'est désintégrée.

L'activité d'un radionucléide donné, c'est-à-dire le nombre de désintégrations par seconde, est exprimée en Becquerel (Bq). Un Bq = une désintégration par seconde.

Il existe des radionucléides naturels d'origine tellurique et cosmogénique.

Rappels sur les radionucléides naturels d'origine tellurique

Les principaux radionucléides naturels d'origine tellurique sont :

- L'uranium 238 et ses 13 descendants radioactifs,
- L'uranium 235 et ses 10 descendants radioactifs,
- Le thorium 232 et ses 10 descendants radioactifs.
- Le potassium 40.

Les chaînes de désintégration de l'uranium 238, de l'uranium 235 et du thorium 232 sont présentées en [Annexe 2](#).

Dans l'écorce terrestre non perturbée, les radionucléides des différentes chaînes de désintégration (uranium 238, uranium 235 et thorium 232) sont en général à l'équilibre au sein de leur chaîne. C'est-à-dire que l'activité massique de chacun des descendants est égale à celle du père de la chaîne (par exemple, l'activité du radium 226 est égale à celle de l'uranium 238).

Rappels sur les radionucléides naturels d'origine cosmogénique

Les principaux radionucléides naturels d'origine cosmogénique, c'est-à-dire créés dans la haute atmosphère par l'interaction du rayonnement cosmique et des atomes stables présents dans l'air, sont le **tritium**, le **béryllium 7** et le **carbone 14**.

Rappels sur les modes de désintégration et les rayonnements émis

Les radionucléides se désintègrent en émettant principalement :

- une **particule alpha** (cas de l'uranium 238, du plutonium 239, etc..). Une particule alpha est un noyau d'hélium, ion positif, constitué de 2 protons et de 2 neutrons. Dans le cas d'une désintégration de type alpha, l'atome engendré par cette transmutation a 2 protons et 2 neutrons de moins que son précurseur. L'uranium 238 devient ainsi du thorium 234.
- un **électron bêta** (cas du thorium 234, de l'actinium 228, etc..). Dans ce cas, un neutron se transforme en proton suivi de l'éjection d'un électron. Le produit de cette transmutation a conservé le même nombre de masse que son précurseur, mais son numéro atomique est incrémenté d'une unité. Le thorium 234 devient ainsi du protactinium 234m, et l'actinium 228 du thorium 228.
- A l'issue de la désintégration de type alpha ou bêta, le radionucléide créé peut dans certains cas se désexciter par émission de **rayonnement gamma**. C'est le cas par exemple des radionucléides qui figurent en grisé dans les chaînes de désintégration en [Annexe 2](#).

3.2 Les principaux radionucléides répandus dans l'environnement par les essais nucléaires atmosphériques

L'explosion d'une bombe nucléaire disperse dans l'atmosphère certains corps radioactifs (radionucléides) contenus initialement dans la bombe (matière nucléaire) et qui n'ont pas participé à la réaction nucléaire (le rendement ne peut être en effet de 100 %).

Les réactions nucléaires mises en œuvre au cours de l'explosion engendrent en outre de nouveaux corps radioactifs qui n'étaient pas présents dans la matière constitutive de l'engin nucléaire. Il s'agit de produits de fission et d'activation et de transuraniens.

Certains des radionucléides répandus « artificiellement » par les explosions atomiques existent déjà dans l'environnement (uranium 238, uranium 235, tritium, carbone 14). Pour ces radionucléides, la mise en évidence d'une contamination « artificielle » nécessite la connaissance des concentrations naturelles attendues dans l'environnement.

3.2.1 Les constituants de la bombe

Bombe A (fission de l'uranium)

Les bombes basées sur la fission de l'uranium contiennent de l'uranium enrichi en isotope 235 (isotope fissile). On y retrouve en plus les isotopes 234 et 238 de l'uranium.

L'uranium naturel est très répandu dans l'écorce terrestre (3 à 4 grammes par tonne en moyenne). L'uranium naturel présente 3 isotopes, tous radioactifs.

Le plus abondant, l'**uranium 238** représente 99,28 % en masse. Il donne naissance à une chaîne radioactive qui comporte 14 produits radioactifs dont l'**uranium 234** (cf. [Annexe 2](#)). Ce dernier représente seulement 0,006 % en masse.

L'uranium 235 est moins abondant que l'uranium 238 dans la nature (0,71 % en masse) et donne naissance également à une chaîne de désintégrations (cf. [Annexe 2](#)).

L'**uranium 235** est le seul isotope naturel¹ de l'uranium qui soit fissile. Pour réaliser une bombe atomique il faut donc disposer d'uranium enrichi en isotope 235. Il faut en théorie environ 15 kg d'uranium 235 pur (c'est à dire d'uranium débarrassé de ses isotopes 234 et 238) et 21 kg s'il s'agit d'uranium enrichi à 80 % en isotope 235 (c'est à dire comportant 80 % d'uranium 235 et 20 % d'uranium 234 et 238). En France, l'usine de Pierrelatte, construite à des fins militaires, a produit, à partir de 1964 de l'uranium enrichi à plus de 90 %.

Bombe A (fission du plutonium)

Le plutonium n'existe pas dans la nature (ou de façon infinitésimale). Il existe 15 isotopes du plutonium.

L'isotope 239 du plutonium est beaucoup plus fissile que l'uranium 235. La masse critique nécessaire en théorie pour fabriquer une bombe atomique au plutonium est de 4,4 kg environ (matériau pur) et 9,6 kg pour un matériau contenant 50 % de plutonium 239.

Le **plutonium 239** est créé dans les réacteurs nucléaires par bombardement neutronique de l'uranium 238 contenu dans le combustible nucléaire. C'est pourquoi on qualifie l'uranium 238 de « matière fertile » (matière qui par transformations donne naissance à des noyaux fissiles).

L'uranium 238 capture un neutron, ce qui donne naissance à l'uranium 239 (période 23,5 minutes) qui se désintègre par émission bêta en neptunium 239. La désintégration par émission bêta de ce dernier (période 2,3 jours) donne naissance au plutonium 239. Le plutonium 239 est un radionucléide émetteur alpha de très longue période (24 100 ans).

¹ Il existe des isotopes artificiels de l'uranium qui sont générés au cours de certaines réactions nucléaires. L'uranium 233 par exemple est produit par capture neutronique sur le thorium 232. L'uranium 233 est fissile. L'uranium 235, par capture neutronique, donne naissance à l'uranium 236 (émetteur alpha de période 25 millions d'années). Par capture neutronique, l'uranium 236 donne ensuite naissance à l'uranium 237 (émetteur bêta, dont la désintégration aboutit à la formation du neptunium 237. L'irradiation du neptunium 237 conduit à la formation de neptunium 238 dont la désintégration par émission bêta aboutit à la formation du plutonium 238.

D'autres isotopes du plutonium sont générés aux cours des réactions nucléaires qui ont lieu au sein du combustible en réacteur. Par capture neutronique, le plutonium 239 se transforme en effet en **plutonium 240** (dans un réacteur classique 28 % des noyaux de plutonium 239 traversés par un neutron donnent naissance, par capture neutronique, au plutonium 240). Le plutonium 240 est un isotope émetteur alpha de longue période (6 563 ans).

Par capture neutronique, le plutonium 240 donne à son tour du **plutonium 241** (émetteur bêta de période 14,4 ans). Le plutonium 241 est fissile, avec un taux de probabilité comparable à celui du plutonium 239.

Par capture neutronique, le plutonium 241 donne naissance au **plutonium 242** (émetteur alpha de période 376 300 ans).

Dans un réacteur nucléaire, les isotopes fissiles du plutonium sont transformés en outre par des réactions de fission (environ 72 % des noyaux de plutonium 239 frappés par un neutron fissionnent). La composition isotopique du plutonium va dépendre de nombreux paramètres (combustible utilisé, type de réacteur, durée d'irradiation dans le réacteur).

Du plutonium de qualité militaire est du plutonium dont la teneur en plutonium fissile (plutonium 239) est élevée. Bien qu'également fissile, l'isotope 241 du plutonium présente deux inconvénients : il disparaît progressivement par désintégration bêta (période de 14 ans) ; de plus, sa désintégration aboutit à la formation d'américium 241 qui accroît les risques radiologiques liés à la manipulation de la bombe (émissions gamma en particulier).

En pratique une bombe au plutonium contient typiquement de l'ordre de 40 % de plutonium 239.

Bombe H (fusion thermonucléaire)

Contrairement aux bombes atomiques classiques (bombes A) où l'énergie provient de la fission d'atomes lourds (uranium 235 ou plutonium 239), la bombe H utilise l'énergie dégagée par la fusion de noyaux atomiques d'éléments légers (deutérium, tritium). Le deutérium est un isotope non radioactif de l'hydrogène. Le **tritium** est un isotope radioactif de l'hydrogène (émetteur bêta, période physique de 12,3 ans). Le tritium est fabriqué dans des installations militaires spécialisées, par irradiation neutronique de lithium 6 (le lithium 6 est un isotope non radioactif du lithium).

Dans les bombes H classiques les isotopes de noyaux légers (deutérium et tritium) sont présents sous forme d'hydrures de lithium 6.

La réaction de fusion nucléaire est déclenchée par une bombe à fission (bombe A, dont l'énergie est typiquement de plusieurs dizaines de kilotonnes) située à proximité d'une « cible » constituée de deux hydrures de lithium (deutérium et tritium) et d'une charge de deutérure de lithium.

Une partie de l'engin est entourée d'un matériau réflecteur capable de réfléchir le rayonnement X et les neutrons produits par l'explosion de la bombe A. Ce réflecteur peut-être constitué **d'uranium 238**.

Le rayonnement émis par l'explosion de la bombe à fission permet la fusion du mélange deutérium tritium de la cible (augmentation de la température et compression).

Les neutrons rapides émis par les réactions initiales transforment les noyaux de lithium de la charge en noyaux d'hélium et de tritium. Ces derniers réagissent avec le deutérium contenu dans l'hydrure de la charge. Dans ces conditions une partie du tritium qui donne naissance à la fusion est généré en continu par la réaction nucléaire elle-même. La puissance d'une bombe H est en théorie quasi illimitée² en fonction de la masse de deutérure de lithium utilisée dans la charge.

Dans tous les cas cités ci-dessus il faudrait tenir compte également de la présence au cœur de l'engin nucléaire d'une source de neutrons (pour initier la réaction en chaîne de la bombe à fission).

Il peut s'agir, par exemple, d'une source de **polonium 210** (émetteur alpha de période égale à 138,4 jours) et de béryllium.

² La plus puissante bombe nucléaire testée par l'ex Union Soviétique présentait une puissance de l'ordre de 58 Mégatonnes (30 octobre 1961).

3.2.2 Les radionucléides engendrés par l'explosion nucléaire

Il n'est pas possible de dresser ici la liste exhaustive de tous les éléments radioactifs artificiels créés par l'explosion d'une bombe à fission ou à fusion.

On peut retenir qu'il en existe 3 catégories : les produits de fission, les produits d'activation et les transuraniens.

Les produits de fission.

La fission des noyaux lourds (uranium 235, plutonium 239) donne naissance à deux (et parfois trois) noyaux plus petits. Il s'agit essentiellement d'isotopes radioactifs dont beaucoup n'existent pas dans la nature. Ces isotopes (plus de 300) appartiennent aux familles des éléments situés dans la partie centrale de la table de Mendeleïev. Il s'agit par exemples d'isotopes du strontium (strontium 90), de l'iode (iode 131), du césium (césium 137), du krypton (krypton 85), etc..

Une liste est proposée dans les [tableaux T3-1, T3-2 et T3-3](#) ci-dessous (la colonne « origine » du tableau porte alors la mention PF –Produits de Fission).

Les produits d'activation

Les produits d'activation résultent de l'interaction des neutrons (émis par les réactions nucléaires de fission ou de fusion) avec les atomes du milieu environnant.

Si la bombe explose à une hauteur suffisante au dessus du sol, il s'agit de radionucléides liés à l'activation des matériaux constitutifs de l'engin nucléaire et de l'air.

Si la bombe explose assez près de la surface du sol – ce fût le cas des tirs sur barge effectués en 1966 et 1967- il faut ajouter aux précédents les radionucléides liés à l'activation des atomes contenus dans l'eau, les sols, les structures métalliques proches, etc...

Au cours de ces réactions, des atomes qui initialement n'étaient pas radioactifs sont « transmutés » en atomes radioactifs.

Par exemple, le tritium est engendré à partir de l'azote de l'air, du lithium 6 (sol, matériau constitutif de la bombe H), du bore , etc., le carbone 14 à partir de l'azote 14 (stable) de l'air, le fer 55 à partir du fer 54 stable, le cobalt 60 à partir du cobalt 59 stable, l'euporium 152 à partir de l'euporium 151 stable.

Une liste est proposée dans les [tableaux T3-1, T3-2 et T3-3](#) ci-dessous (la colonne « origine » du tableau porte alors la mention PA –Produit d' Activation).

Les transuraniens

Comme nous l'avons indiqué au paragraphe 3.2.1 ci-dessus, aux cours des réactions nucléaires qui ont lieu au cœur d'un réacteur nucléaire ou lors d'une explosion atomique, les atomes d'uranium et de plutonium présents dans la bombe peuvent capturer un neutron et donner naissance à de nouveaux isotopes de l'uranium, du plutonium ou d'autres éléments chimiques lourds appelés transuraniens (isotopes du neptunium, de l'américium, etc..). Le neptunium 237 par exemple est engendré à partir de l'uranium 238 .

3.2.3 Liste provisoire des radionucléides liés aux essais

Compte tenu des éléments exposés ci-dessus, les [tableaux T3-1, T3-2 et T3-3](#) ci-après présentent une liste (non exhaustive) des principaux radionucléides liés aux essais nucléaires avec certaines de leurs caractéristiques (origine, période physique, type de désintégration). Lorsque le taux d'émission (et l'énergie) des raies gamma permet le dosage de ces radionucléides par spectrométrie gamma, la case correspondante est coloriée en jaune.

La liste présentée dans le tableau [T3-1](#) ci-dessous est tirée de l'inventaire officiel (document N°4) publié par la DIRCEN (DIREction des Centres d'Expérimentations Nucléaires) en 1998³ pour établir le terme source contenu dans le sous-sol des atolls de Mururoa et Fangataufa du fait des essais nucléaires souterrains. Il s'agit de radionucléides dont la période physique est supérieure à 1 an.

Tableau T3-1 : Radionucléides de période supérieure à 1 an constituant le terme source dans le sous-sol des atolls de Mururoa et Fangataufa (source : DIRCEN)

Radionucléide	Origine principale	Période (a)	Emission X ou gamma (a)	Mode de désintégration (a)
Tritium ³ H	Matière Nuc ++, PA (Li6, etc..)	12,33 ans	non	bêta
Cobalt 60	PA, Co 59 stable	5,27 ans (et 10,47 min.)	oui > 100 %	bêta
Krypton 85	PF	10,72 ans (et 4,48 h)	oui < 1 %	bêta
Strontium 90	PF	28,5 ans	non	bêta
Yttrium 90	filis Sr 90	2,67 j	très faible	bêta
Zirconium 93	PF	1,53 million d'A	oui > 10 %, < 31 keV	bêta
Technetium 99	PF, filis Mo 99	213 000 ans	très faible	bêta
Ruthenium 106 / Rhodium 106	PF	1,02 an (Eq 29,8 sec.)	oui > 30 %	bêta
Antimoine 125	PF	2,73 ans	oui > 100 %	bêta
Iode 129	PF	15,7 millions d'A	oui > 60 %	bêta
Césium 134	PA, Cs 133 (stable)	2 ans (et 2,9 h)	oui > 100 %	bêta
Césium 135	PF, filis Xe 135	3,0 millions d'A	non	bêta
Césium 137	PF	30 ans	oui > 85 %	bêta
Prométhéum 147	PF	2,62 ans	très faible	bêta
Samarium 151	PF	90 ans	très faible	bêta
Europium 152	PA, Eu 151 stable	13,3 ans (et 9,32 h)	oui > 100 %	bêta (28 %)
Europium 155	PF	4,96 ans	oui > 80 %	bêta
Neptunium 237	Filis U 237 (et Am 241)	2,14 millions d'A	oui > 80 %	Alpha
Plutonium 238	Matière Nuc., filis Np 238 et Cm 242	87,7 ans	très faible , X 10 %	Alpha
Plutonium 239	Matière Nuc., filis Np 239	24 110 ans	très faible	Alpha
Plutonium 240	Matière Nuc., capture U 238, Pu 239-n	6 563 ans	très faible	Alpha
Plutonium 241	Matière Nuc., capture U 238 et Pu 239	14,4 ans	très faible	bêta
Americium 241	Filis Pu 241	432,7 ans	oui > 75 %	Alpha

Légende

(a) Données issues de "Table of Radioactive Isotopes, Browne et Firestone, 1986".

PF : Produit de Fission PA : Produit d'Activation

³ Geomechanical and Radiological impact of nuclear tests at Mururoa and Fangataufa (French Polynesia) / CEA-DAM et Ministère de la Défense-DIRCEN / La Documentation Française 1998, Document N°4 Medium –and Long-Term Containment of Underground Nuclear Tests at the CEP : Source Term Inventory and Worst-Case Impact Assessment.

La liste présentée dans le tableau T3-2 ci-dessous est tirée du document N°13 publié par la DIRCEN en 1998 et portant⁴ sur les conséquences radiologiques des essais nucléaires atmosphériques sur les îles de Polynésie Française de 1966 à 1994.

Tableau T3-2 : Radionucléides présents lors des retombées atmosphériques en Polynésie Française (source : DIRCEN)

Radionucléide	Origine principale	Période (a)	Emission X ou gamma (a)	Mode de désintégration (a)
Zirconium 95	PF	64,02 jours	oui > 98 %	bêta
Niobium 95	Fils Zr 95	3,61 et 34,97 jours	oui > 25 % et > 99 %	bêta
Molybdène 99	PF	2,75 jours	oui > 100 %	bêta
Tellure 132	PF	3,26 jours	oui > 100 %	bêta
Iode 131	PF	8,04 jours	oui > 100 %	bêta
Iode 132	Fils Te 132	2,28 heures	oui > 100 %	bêta
Iode 133	PF	20,8 heures	oui > 98 %	bêta
Césium 137	PF	30 ans	oui > 85 %	bêta
Baryum 140	PF	12,74 jours	oui > 50 %	bêta
Lanthane 140	PF, fils Ba 140	1,68 jours	oui > 100 %	bêta
Neptunium 239	Activation de l'engin, fils U239 et AM 243	2,35 jours	oui > 100 %	bêta

Légende

(a) Données issues de "Table of Radioactive Isotopes, Browne et Firestone, 1986".

PF : Produit de Fission PA : Produit d'Activation

La liste présentée dans le tableau T3-3 ci-dessous regroupe des radionucléides rajoutés par la CRIIRAD, afin de compléter, au mieux l'inventaire.

La réalisation d'une liste exhaustive de tous les radionucléides liés aux essais nucléaires atmosphériques est un travail complexe qui sort du champ de la présente étude (pour les produits d'activation en particulier cela nécessiterait une connaissance approfondie des matériaux constitutifs de l'engin nucléaire et des conditions de tir). Cela nécessiterait la compilation de nombreuses données bibliographiques (dont une grande partie est classifiée) et la création d'un groupe de travail ad hoc comportant des experts militaires.

⁴ Geomechanical and Radiological impact of nuclear tests at Mururoa and Fangfataufa (French Polynesia) / CEA-DAM et Ministère de la Défense-DIRCEN / La Documentation Française 1998, Document N°13 Radiological Consequences of the Atmospheric Tests on the Islands of French Polynesia from 1966 to 1994.

Tableau T3-3 : Liste complémentaire de radionucléides potentiellement présents lors des retombées atmosphériques

Radionucléide	Origine principale	Période (a)	Emission X ou gamma (a)	Mode de désintégration (a)
Carbone 14	PA, N14 stable	5 730 ans	non	bêta
Manganèse 54	PA, Fe 54 stable	312,2 jours	oui > 100 %	bêta
Fer 55	PA, Fe 54 stable	2,73 ans	oui > 26 % (< 7 keV)	Capt. Elec.
Sélénium 79	PF	< 65 000 a	non	bêta
Strontium 89	PA, Sr 88 stable	50,5 jour	très faible, < 0,01 %	bêta
Yttrium 91	PF	58,5 jours (et 49,7 min)	très faible, 0,3 %	bêta
Ruthenium 103	PF	39,2 jours	oui > 100 %	bêta
Rhodium 101	PA	3,3 ans	oui > 100 %	bêta
Rhodium 102m	PA	2,9 ans	oui > 100 %	bêta
Palladium 107	PF	6,5 millions d'années	non	bêta
Tellure 127	PF	109 jours (et 9,35 h)	oui > 40 %	IT
Tellure 129	PF	33,6 jours (et 1,16 h)	oui > 30 %	bêta (36 %)
Xénon 133	PF	5,24 jours (et 2,19 j)	oui > 90 %	bêta
Césium 136	PF	13,16 jours (et 19 s)	oui > 100 %	bêta
Cérium 141	PA, Ce 140 stable	32,5 jours	oui > 60 %	bêta
Praséodyme 143	PF	13,6 jours	très faible	bêta
Cérium 144	PF	284,9 jours	oui > 19 %	bêta
Néodyme 147	PF	10,98 jours	oui > 90 %	bêta
Europium 156	PF	15,19 jours	oui > 60 %	bêta
Bismuth 207	PA	32,2 ans	oui > 100 %	Capt. Elec.
Thorium 234	Fils d'uranium 238	24,1 jours	oui > 100 %	bêta
Uranium 234	Associé à U235 et 238	245 000 ans	très faible	Alpha
Uranium 235	Matériau fissile	700 millions d'années	oui > 100 %	Alpha
Uranium 238	Matériau fertile	4,47 milliards d'années	très faible	Alpha
Uranium 237	PA U 236 et U 238	6,75 j	oui > 100 %	bêta

Légende

(a) Données issues de "Table of Radioactive Isotopes, Browne et Firestone, 1986".

PF : Produit de Fission PA : Produit d'Activation

3.3 Méthodologie de prélèvement et d'analyse en laboratoire

3.3.1 Choix des compartiments de l'environnement à étudier

Le choix spécifique des sites d'échantillonnage et des types d'échantillons est explicité au sein des 3 chapitres ultérieurs consacrés à chaque île ou atoll. L'objet du présent paragraphe est de développer quelques considérations techniques pour expliciter la démarche générale retenue par le laboratoire de la CRIIRAD pour conduire les échantillonnages de terrain.

Dans la mesure où il s'agissait de se prononcer sur l'impact résiduel actuel des retombées atmosphériques (en priorité à Mangareva), et compte tenu de la courte durée de la mission, il était nécessaire d'examiner en priorité l'état radiologique des sols et sédiments.

Dans le cas où la couche arable des sols d'une part, et les sédiments en pied des principaux bassins versants d'autre part, ne présenteraient pas de contamination importante, cela permettrait de considérer, a priori, qu'il puisse en être de même pour les denrées végétales (légumes, fruits) poussant sur ces sols ou arrosés par les eaux dont la décantation recharge ces sédiments.

Réalisation des prospections radiamétriques

Pendant toute la durée de la mission, les prospections de terrain ont été systématiquement accompagnées de prospections radiamétriques (mesure du flux de rayonnement gamma) au moyen d'un scintillomètre ultrasensible (DG5 de marque Novelec). Cet appareil enregistre le flux de rayonnement gamma exprimé en coups par secondes (c/s) et permet de détecter efficacement des anomalies radiamétriques au contact des sols et matériaux.

Il était prévu initialement d'utiliser en outre un spectromètre de terrain (Nanospec, Target à cristal d'iodure de sodium : NaI) pour effectuer une évaluation qualitative des émissions gamma in situ, selon la même méthodologie que celle qui a permis à André Paris, et au laboratoire de la CRIIRAD, de réaliser l'Atlas de la Contamination Résiduelle des sols en France et une partie de l'Europe⁵.

Cette méthode aurait permis d'évaluer l'activité surfacique apparente du césium 137 dans les sols, sur de nombreux sites et sans contrainte de poids (le nombre d'échantillons pouvant être ramenés en métropole pour analyse était forcément limité). Compte tenu de la faible activité rémanente en césium 137, cette méthode a été finalement abandonnée au profit exclusif des dosages en laboratoire sur échantillons.

Végétaux et chaîne alimentaire

Compte tenu des contraintes inhérentes à cette mission préliminaire, il était impossible de mettre en œuvre une large campagne d'échantillonnages de végétaux et denrées alimentaires.

Les prélèvements ont porté sur 2 légumes racines à Mangareva (tarua et manioc) et sur le coco à Tureia et aux Gambier.

En outre, la section du tronc d'un cocotier a été prélevée, à Mangareva, de manière à effectuer un dépistage concernant deux radionucléides liés aux essais et facilement métabolisés par les végétaux, le tritium (isotope radioactif de l'hydrogène) et le carbone 14 (isotope radioactif du carbone).

Eau

Dans le cas de Mangareva, des prélèvements ont été effectués sur les 3 types d'eau de consommation (eau de pluie, eau de captages et eau de forages).

⁵ Contaminations radioactives : atlas France et Europe / CRIIRAD et André Paris / Editions Yves Michel / 2002.

Sols et sédiments

Les mesures effectuées en métropole par le laboratoire de la CRIIRAD depuis une vingtaine d'années montrent que les radionucléides liés aux retombées atmosphériques des années 50-70 et à l'accident de Tchernobyl en 1986 peuvent être retrouvés d'une part dans les strates profondes de carottages de sols et sédiments, d'autre part au niveau de points d'accumulation spécifiques (zones de gouttage de toiture, sédiments de collecteurs d'eaux pluviales, etc.).

Cette méthode a été utilisée par le laboratoire de la CRIIRAD⁶ dès 1988 pour analyser l'intensité des retombées de Tchernobyl en métropole. Dans les premières années après Tchernobyl, la persistance du césium 134 (période de 2 ans) a permis de distinguer par ailleurs la part du césium 137 imputable à Tchernobyl de celle, antérieure, liée aux retombées des essais nucléaires dans l'hémisphère Nord.

Dans le cas particulier de Mangareva ont été effectués des carottages de sol et ou de sédiments à la fois sur des sites représentatifs de terrains soumis aux retombées directes et sur des secteurs d'accumulation spécifique (voir paragraphe 4).

Le protocole traditionnel mis en œuvre par le laboratoire de la CRIIRAD pour étudier l'impact des retombées de Tchernobyl (utilisation d'un carottier cylindrique, prélèvement de strates de 5 centimètres jusqu'à 40 centimètres de profondeur) a été allégé dans le cas de Mangareva (compte tenu des contraintes sur les masses transportables).

Les carottages ont été effectués à la pelle en délimitant au préalable un carré de 10 cm par 10 cm. Les prélèvements ont été effectués par strates de 10 centimètres jusqu'à une profondeur de 30 centimètres de manière à étudier en priorité la partie arable du sol.

Il convient de souligner ici, qu'en fonction du type de sol ou de sédiment, et des paramètres géologiques, météorologiques et hydrologiques locaux, il est très probable qu'une partie des radionucléides déposés par des retombées vieilles de 30 à 40 ans puisse se trouver à des profondeurs plus importantes.

L'étude de 66 carottages de sol effectués en Alsace par le laboratoire de la CRIIRAD en 1990-1991, soit 5 ans après les retombées de Tchernobyl, et une trentaine d'années après le pic des retombées des essais nucléaires atmosphériques dans l'hémisphère nord, avait permis de constater⁷ :

- que le césium 137 imputable à Tchernobyl était situé à plus de 90 % dans les 10 premiers centimètres du sol et dans 60 cas sur 66 n'était plus mesurable au-delà de 20 centimètres,
- que le césium 137 d'origine militaire restait certes majoritairement présent dans les 20 premiers centimètres du sol mais que sa migration était nettement plus marquée. Il était en particulier toujours mesurable au-delà de 20 cm de profondeur, n'était plus mesurable au-delà de 30 centimètres dans 10 % des cas, et était présent sur l'ensemble de la carotte (40 cm) dans 61 % des cas.

En dehors des carottages de sol et sédiments effectués à Mangareva, des échantillonnages ponctuels de matériaux solides divers (béton, remblais, terres spécifiques) ont été effectués à Mangareva, Tureia et Hao. Afin de tenir compte des contraintes sur les masses de matériau transportable, les quantités prélevées ont été dimensionnées, dans certains cas, afin de pouvoir réaliser des analyses par spectrométrie gamma en boîte de Petri (66 cc) en non en géométrie Marinelli (560 cc). Les limites de détection sont alors plus élevées puisque la quantité de matière soumise à l'analyse est plus faible.

⁶ Voir par exemple l'ouvrage : contaminations radioactives : atlas France et Europe / CRIIRAD et Andre Paris / Editions Yves Michel / 2002 et également l'article : B. Chareyron, CRIIRAD, Chernobyl Fallout over France. The specific situation of the Alpine environment, in International Journal of Radiation Medicine, Vol 4 (1-4), 2002.

⁷ Rapport CRIIRAD N°99-11 F / Bilan des retombées de Tchernobyl dans les sols de la région Alsace / Prélèvements et Analyses réalisés par le laboratoire de la CRIIRAD à la demande du Conseil Régional d'Alsace (1998-2001).

3.3.2 Choix des méthodes analytiques

Radionucléides à rechercher en priorité

Comme indiqué au paragraphe 3.2 ci-dessus, la réalisation des essais nucléaires a conduit à disperser dans l'environnement des radionucléides de nature très différente.

Trente à quarante ans après les retombées, les radionucléides de courte période ont totalement disparu. C'est le cas par exemple de l'iode 131, de période physique égale à 8 jours, puisqu'au bout d'une seule année sa radioactivité est divisée par 50 millions de millions.

Nous avons reporté dans le [tableau T3-4](#), ci-dessous, le facteur de décroissance au bout de 1, 10, 30 et 40 ans pour les radionucléides principaux potentiellement associés aux retombées.

Pour un radionucléide comme le ruthénium 106 de période égale à 1 an, le facteur de décroissance est supérieur à 800 au bout de 10 ans et à 700 millions au bout de 30 ans.

Trente ans après les retombées, les radionucléides de période inférieure à 5 ans, ont un facteur de décroissance supérieur à 50.

Tableau T3-4 : Facteurs de décroissance pour quelques radionucléides

Radionucléide	Période (année)	Facteur de décroissance en 1 an	Facteur de décroissance en 10 ans	Facteur de décroissance en 30 ans	Facteur de décroissance en 40 ans
Iode 131	0,02	5,54E+13	2,75E+137	-	-
Zirconium 95	0,18	52,24	1,51E+17	3,46E+51	5,24E+68
Cérium 144	0,78	2,43	7 233	3,78E+11	2,74E+15
Manganèse 54	0,85	2,25	3 343	3,73E+10	1,25E+14
Ruthénium 106 / Rhodium 106	1,02	1,97	894	7,14E+08	6,38E+11
Césium 134	2	1,41	32	32 768	1,05E+06
Prométhéum 147	2,62	1,30	14	2 798	39 435
Antimoine 125	2,73	1,29	13	2 032	25 745
Europium 155	4,96	1,15	4	66	268
Cobalt 60	5,27	1,14	4	52	193
Tritium ³ H	12,33	1,06	2	5	9
Europium 152	13,3	1,05	2	5	8
Plutonium 241	14,4	1,05	2	4	7
Strontium 90	28,5	1,02	1,3	2	3
Césium 137	30	1,02	1,3	2	3
Bismuth 207	32,2	1,02	1,2	2	2
Plutonium 238	87,7	1,01	1,1	1,3	1,4

Seuls certains radionucléides de période physique suffisamment longue pourraient être encore détectés, en 2005, dans l'environnement global (du fait des retombées) ou dans les zones situées au droit de certaines installations militaires (cas de Hao).

A partir de la liste des radionucléides contenus dans les [tableaux T3-1, T3-2 et T3-3](#) ci-dessus, nous avons sélectionné ceux dont la période est supérieure à 280 jours.

Cette nouvelle liste est reproduite dans le [tableau T3-5](#), ci-après.

Tableau T3-5 : Liste de radionucléides potentiellement présents lors des retombées atmosphériques et de période longue

Radionucléide	Origine principale	Période (a)	Emission X ou gamma (a)	Mode de désintégration (a)
---------------	--------------------	-------------	----------------------------	-------------------------------

Période inférieure à 5 ans

Cérium 144	PF	284,9 jours	oui > 19 %	bêta
Manganèse 54	PA, Fe 54 stable	312,2 jours	oui > 100 %	bêta
Ruthenium 106 / Rhodium 106	PF	1,02 an (Eq 29,8 sec.)	oui > 30 %	bêta
Césium 134	PA, Cs 133 (stable)	2 ans (et 2,9 h)	oui > 100 %	bêta
Prométhéum 147	PF	2,62 ans	très faible	bêta
Antimoine 125	PF	2,73 ans	oui > 100 %	bêta
Fer 55	PA, Fe 54 stable	2,73 ans	oui > 26 % (< 7 keV)	Capt. Elec.
Rhodium 102m	PA	2,9 ans	oui > 100 %	bêta
Rhodium 101	PA	3,3 ans	oui > 100 %	bêta
Europium 155	PF	4,96 ans	oui > 80 %	bêta
Cobalt 60	PA, Co 59 stable	5,27 ans (et 10,47 min.)	oui > 100 %	bêta

Période comprise entre 5 et 15 ans

Krypton 85	PF	10,72 ans (et 4,48 h)	oui < 1 %	bêta
Tritium ³ H	Matière Nuc ++, PA (Li6, etc..)	12,33 ans	non	bêta
Europium 152	PA, Eu 151 stable	13,3 ans (et 9,32 h)	oui > 100 %	bêta (28 %)
Plutonium 241	Matière Nuc., capture U 238 et Pu 239	14,4 ans	très faible	bêta

Période comprise entre 15 et 40 ans

Strontium 90	PF	28,5 ans	non	bêta
Yttrium 90	fils Sr 90	2,67 j	très faible	bêta
Césium 137	PF	30 ans	oui > 85 %	bêta
Bismuth 207	PA	32,2 ans	oui > 100 %	Capt. Elec.

Période supérieure à 40 ans

Plutonium 238	Matière Nuc., fils Np 238 et Cm 242	87,7 ans	très faible , X 10 %	alpha
Samarium 151	PF	90 ans	très faible	bêta
Américium 241	Fils Pu 241	432,7 ans	oui > 75 %	alpha
Carbone 14	PA, N14 stable	5 730 ans	non	bêta
Plutonium 240	Matière Nuc., capture U 238, Pu 239-n	6 563 ans	très faible	alpha
Plutonium 239	Matière Nuc., fils Np 239	24 110 ans	très faible	alpha
Sélénium 79	PF	< 65 000 a	non	bêta
Technétium 99	PF, fils Mo 99	213 000 ans	très faible	bêta
Uranium 234	Associé à U235 et 238	245 000 ans	très faible	alpha
Zirconium 93	PF	1,53 million d'A	oui > 10 %, < 31 keV	bêta
Neptunium 237	Fils U 237 (et Am 241)	2,14 millions d'A	oui > 80 %	alpha
Césium 135	PF, fils Xe 135	3,0 millions d'A	non	bêta
Palladium 107	PF	6,5 millions d'années	non	bêta
Iode 129	PF	15,7 millions d'A	oui > 60 %	bêta
Uranium 235	Matériau fissile	700 millions d'années	oui > 100 %	alpha
Uranium 238	Matériau fertile	4,47 milliards d'années	très faible	alpha
Thorium 234	Fils d'uranium 238	24,1 jours	oui > 100 %	bêta

Légende

(a) Données issues de "Table of Radioactive Isotopes, Browne et Firestone, 1986".

PF : Produit de Fission PA : Produit d'Activation

Parmi les radionucléides à rechercher en priorité, on peut citer en particulier :

- Des produits de fission comme le **strontium 90** (28,5 ans), l'**antimoine 125** (2,73 ans), le **césium 137** (période 30 ans), le samarium 151 (90 ans), l'**europium 155** (4,96 ans), l'iode 129 (15,7 millions d'années), etc...
- Des radionucléides constitutifs de l'engin nucléaire :
 - o isotopes de l'uranium comme l'**uranium 235**, l'**uranium 234** et l'**uranium 238**,
 - o isotopes du plutonium. Il s'agit d'isotopes émetteurs alpha du **plutonium** (plutonium 238, 239 et 240) et émetteurs bêta (plutonium 241).
 - o Autres transuraniens, et en particulier l'**américium 241** (432,7 ans), créé par désintégration du plutonium 241,
 - o **tritium** (période 12,3 ans)
- Des produits d'activation comme le **carbone 14** (5 730 ans), le **cobalt 60** (5,27 ans), l'**europium 152** (13,3 ans), le bismuth 207 (32,2 ans), etc....

Cette liste est confortée par les résultats des analyses officielles publiées par la DIRCEN⁸ et portant sur les sols et sédiments de Moruroa et Fangataufa.

Dans les sédiments de Moruroa, par exemple, la DIRCEN note (rapport de 1998) que la radioactivité artificielle est due, par ordre décroissant d'activité, aux radionucléides suivants : plutonium 239-240, plutonium 238, europium 155, américium 241, cobalt 60, strontium 90, césium 137 et antimoine 125.

A noter que ces études ne font pas état du dosage des isotopes de l'uranium et du carbone 14.

Intérêt des analyses par spectrométrie gamma

Le choix des techniques d'analyses dépend du type de contaminant que l'on s'attend à rencontrer, du milieu dans lequel il est dosé (matière minérale, matière végétale, eau) et de la limite de détection que l'on souhaite atteindre.

Nous allons donner ci-dessous quelques précisions techniques sur les méthodes retenues par le laboratoire de la CRIIRAD dans le cadre de cette étude.

L'ensemble des échantillons collectés (sols, sédiments, remblais, végétaux, filtres), à l'exception de la tranche de cocotier⁹ et des eaux, ont fait l'objet d'analyses par spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD.

En effet, la spectrométrie gamma est une méthode analytique relativement sensible, rapide à mettre en œuvre et d'un coût limité. Son atout principal est de permettre de détecter et de quantifier un grand nombre de radionucléides artificiels et naturels émetteurs gamma (cf [Annexe 1](#)).

Dans le cas de la présente étude, les radionucléides émetteurs gamma sont ceux apparaissant en jaune dans le [tableau T3-5](#) page précédente.

⁸ Geomechanical and Radiological impact of nuclear tests at Mururoa and Fangataufa (French Polynesia) / CEA-DAM et Ministère de la Défense-DIRCEN / La Documentation Française 1998, Documents N°1 et 2.

⁹ En effet la tranche de cocotier a été échantillonnée pour examiner en priorité les risques d'incorporation de radionucléides dans les constituants de base de la matière biologique à savoir l'hydrogène (dosage du tritium) et le carbone (dosage du carbone 14). Le dosage de produits de fission émetteurs gamma ou d'autres radionucléides liés aux essais aurait été intéressant mais n'était pas possible dans le cadre de cette étude préliminaire (en particulier compte tenu des contraintes sur la masse de matériaux transportables).

Les analyses par spectrométrie gamma effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD permettent de doser :

- De nombreux produits de fission et d'activation à période longue (dont cobalt 60, iode 129, **césium 137**, etc...).
- **L'américium 241** (période physique 432,7 ans), émetteur de rayonnements alpha et gamma. Il est produit par la désintégration du plutonium 241 (période physique de 14,4 ans), dont la disparition progressive s'accompagne d'une augmentation de l'activité en américium 241.
- **L'uranium 235** (émetteur alpha et gamma) **et l'uranium 238** (à travers son premier descendant le thorium 234).

Le protocole mis en œuvre par le laboratoire de la CRIIRAD est décrit en [Annexe 1](#).

Le laboratoire de la CRIIRAD a reçu l'agrément délivré par le Ministère de la Santé pour la mesure de la radioactivité dans l'environnement et la chaîne alimentaire (Arrêté du 13 juin 2002 fixant la liste des laboratoires ayant obtenu le certificat de qualification technique pour la mesure de la radioactivité de l'environnement et des denrées destinées à la consommation).

L'actualisation de l'agrément est en cours suite aux derniers exercices d'intercomparaison organisés en 2004 et 2005 par l'IRSN (arrêté ministériel en attente). La commission d'agrément qui s'est réunie en novembre 2005 s'est prononcée favorablement pour les agréments suivants:

- matrice "eau" : 1_01 et 1_02 (émetteurs gamma toutes énergies) et 1_05 (tritium dans l'eau) :
- matrice "sol" : 2_09 (isotopes uranium sols), 2_10 (isotopes thorium sols), 2_11 (radium 226 et descendants dans un sol) et 2_12 (radium 228 et descendants dans un sol),
- matrice "biologique" : 3_01 et 3_02 (émetteurs gamma toutes énergies).

Les résultats détaillés des analyses sont présentés, soit dans les tableaux en [Annexe 3](#), soit directement insérés dans le corps du rapport.

Ces tableaux comportent des précisions sur la nature des prélèvements, les lieux et dates de prélèvement, les conditions de préparation des échantillons et de comptage.

Les spectres gamma sont relevés sur toute la gamme d'énergie de 20 keV à 1,8 MeV. Tous les radionucléides émetteurs gamma artificiels détectés font l'objet d'un calcul d'activité dont le résultat est publié.

Afin de ne pas alourdir inutilement les tableaux de résultats, les limites de détection ne sont pas publiées pour tous les radionucléides émetteurs gamma détectables, mais seulement pour une sélection de 11 radionucléides « naturels » et 12 radionucléides artificiels (dont Co 60, Sb 125, Cs 137, I 129, Am 241, etc).

Dans le cas où le radionucléide n'est pas détecté ou, plus exactement, où son activité est inférieure à la limite de détection, le résultat est exprimé sous la forme (<) ce qui signifie : « inférieur à la limite de détection ».

Nécessité de recourir à d'autres techniques analytiques

Pour contrôler l'impact d'activités liées spécifiquement à des tirs d'armes nucléaires et aux activités associées, la réalisation d'une expertise radiologique approfondie imposerait de doser également certains radionucléides qui ne peuvent être mesurés par spectrométrie gamma.

Certains n'émettent en effet que des rayonnements alpha (**isotopes 238, 239 et 240 du plutonium, isotope 234 de l'uranium**) ou que des rayonnements bêta (**strontium 90, carbone 14, tritium, plutonium 241**). Ces radionucléides ne peuvent être directement détectés par spectrométrie gamma.

Le dosage de tous ces radionucléides nécessite des quantités de matière importantes, une extraction chimique préalable et des comptages longs ce qui explique les coûts associés. Afin de limiter le budget, et compte tenu des contraintes de délais et de masse totale transportable, seule une fraction des échantillons les plus significatifs a pu faire l'objet de certaines de ces mesures, en fonction des résultats de spectrométrie gamma ou de l'intérêt particulier des échantillons.

Dans le cadre d'une étude préliminaire, la spectrométrie gamma permet en effet de recueillir des éléments indicatifs permettant d'établir des priorités pour les recherches futures. Quelques exemples sont listés ci-dessous :

- Même si le césium et le strontium n'ont pas le même comportement chimique, l'absence de forte contamination en césium 137 permet de suggérer, en première approche, qu'il pourrait en être de même pour le strontium 90. Le dosage spécifique de ce dernier peut alors être réservé à une étude ultérieure plus approfondie,
- De même, la détection de l'américium 241 (descendant du plutonium 241) constitue l'indice d'une contamination en plutonium. L'absence de contamination par l'américium 241 suggère donc, en première approche qu'il n'y a pas de forte contamination en plutonium. Il est alors possible, à l'issue de la spectrométrie gamma, de sélectionner les échantillons devant faire l'objet de dosages spécifiques des isotopes émetteurs alpha ou bêta du plutonium.
- L'uranium 234 n'est pas mesurable par spectrométrie gamma, mais un excès d'uranium 234 lié à une contamination par de l'uranium enrichi serait a priori accompagné d'un excès d'uranium 235, ce que la spectrométrie gamma permet de vérifier, en première approche.

Dosage du strontium 90 et des isotopes émetteurs alpha du plutonium

Le dosage du strontium 90 et des isotopes émetteurs alpha du plutonium (plutonium 238, plutonium 239 et 240) dans six des échantillons de sols et sédiments de Mangareva, a été confié au laboratoire de physique de l'Université de Brême avec lequel la CRIIRAD travaille depuis plus de 10 ans.

Pour le dosage du plutonium, les échantillons subissent une attaque acide et une incinération. Le plutonium est extrait sur résines échangeuses d'ions UTEVA et TRU. Les isotopes du plutonium sont identifiés et dosés par spectrométrie alpha sur des détecteurs Canberra de type PIPS (Passivated Implanted Planar Silicon). Le rendement physico-chimique est déterminé pour chaque mesure au moyen d'un traceur en solution étalon (plutonium 242).

Pour le dosage du strontium 90, les échantillons subissent une attaque à l'acide chlorhydrique. Le strontium est extrait à l'acide nitrique. Lorsque l'équilibre yttrium 90–strontium 90 est atteint, l'yttrium est séparé sous forme d'oxalate et son activité mesurée dans un compteur proportionnel à gaz, à bas niveau (EGG Berthold). Le rendement chimique est déterminé par ajout d'isotopes stables du strontium et de l'yttrium et gravimétrie. Le rendement du comptage est déterminé au moyen de sources calibrées.

Des mesures supplémentaires sont en cours sur deux échantillons de sol (points d'accumulation potentielle) prélevés aux Gambier, un échantillon de sédiment de Tureia, et l'échantillon de filtre de l'abri de Rikitea. Les résultats ne sont pas disponibles à la date de rédaction du présent rapport et feront l'objet d'une note technique distincte

Dosage du tritium organiquement lié et du carbone 14

Compte tenu de la rapidité des échanges entre le végétal vivant et son environnement (air et eau), l'activité du tritium libre renseigne sur la contamination du milieu dans les heures qui précèdent l'exposition. Il est donc intéressant de mesurer également l'activité du tritium organiquement lié (OBT : Organically Bound Tritium) c'est à dire la fraction du tritium qui est métabolisée par le végétal et fixée aux molécules constitutives de la matière organique. La mesure de ce paramètre présente un double intérêt :

- Obtenir une meilleure représentativité temporelle par l'effet intégrateur,
- Avoir une vision plus complète de l'impact sanitaire, la toxicité du tritium organiquement lié étant nettement plus importante que celle du tritium libre.

Ces mesures ont été confiées à un laboratoire spécialisé qui dispose des techniques d'extraction de la fraction organique. Il s'agit du laboratoire privé RCD (RadioCarbon Dating) situé à Oxon en Angleterre.

Le dosage du carbone 14 a également été confié à ce laboratoire.

Le dosage du tritium organiquement lié et du carbone 14 a été effectué sur la section d'un tronc de cocotier prélevé à Mangareva, sur deux échantillons d'eau de coco des Gambier et de Tureia, et sur les échantillons de manioc et de tarua de Mangareva.

Un échantillonnage des végétaux a été adressé par la CRIIRAD à RCD. Environ 300 grammes de matière ont été desséchés en étuve à 105 °C jusqu'à élimination complète de l'eau libre. Puis 12 à 15 grammes du résidu sec ont été traités dans un dispositif à combustion haute pression afin de convertir la matière en CO₂ et H₂O. Quatre millilitres de l'eau de combustion ont été utilisés pour détermination de l'activité du tritium au moyen d'un compteur à scintillation liquide de type Quantulus-Wallac. Les résultats sont exprimés en Bq/l d'eau de combustion et Bq/kg de matière végétale. La limite de détection pour le tritium est de 2 à 2,5 Bq/l d'eau de combustion, soit typiquement 0,15 Bq/kg frais.

La conversion ultérieure du CO₂ en benzène a permis de déterminer, par comptage au moyen du Quantulus, l'activité spécifique du carbone 14. Les résultats sont exprimés en Bq/kg de carbone stable. La précision est de l'ordre de 1%.

Dosage du tritium libre dans les eaux

Le dosage du tritium libre dans les eaux a été effectué au laboratoire de la CRIIRAD sur compteur à scintillation liquide très bas bruit de fond de type Packard 2770 équipé d'un cristal de BGO. Le protocole détaillé est reproduit en [Annexe 1](#). La méthode de dosage est conforme à la norme NF M 60-801-1.

Les résultats sont exprimés en becquerel par litre d'eau (Bq/l). La limite de détection obtenue au cours d'un comptage de 500 minutes fractionné en 5 cycles est typiquement de 2 à 3 Bq/l. Les mesures ont été effectuées sur eau brutes dans le cas des 3 échantillons d'eau de Mangareva et sur eau distillée dans le cas des eaux saumâtres prélevées en fond de fouille à Hao.

Mesure des indices d'activité alpha et bêta globale dans les eaux

La mesure des indices d'activité alpha et bêta globale des 3 échantillons d'eau (eau de pluie, eau de captage, eau de forage) prélevés aux Gambier a été confiée au laboratoire EICHROM basé en Bretagne. Ce laboratoire est agréé par le Ministère de la Santé pour ce type de dosages.

Les dosages ont été effectués selon les normes NF M 60-801 (alpha) et NF M 60-800 (bêta).

Dans le cas des eaux de captages de Mangareva, la CRIIRAD a demandé en outre au laboratoire EICHROM de procéder au dosage du strontium 90 (norme NF M 60-806-3 par scintillation liquide), du carbone 14 (norme NF M 60-802-2 par scintillation liquide) et des isotopes émetteurs alpha de l'uranium (norme NF M 60-805-5 par spectrométrie alpha) et du plutonium (norme NF M 60-804-3 par spectrométrie alpha).

4 Résultats concernant les îles Gambier (Mangareva et Taravai)

4.1 Description de l'île de Mangareva

L'île de Mangareva appartient à l'archipel des Gambier situé à environ **600 km à l'est / sud-est de Moruroa**.

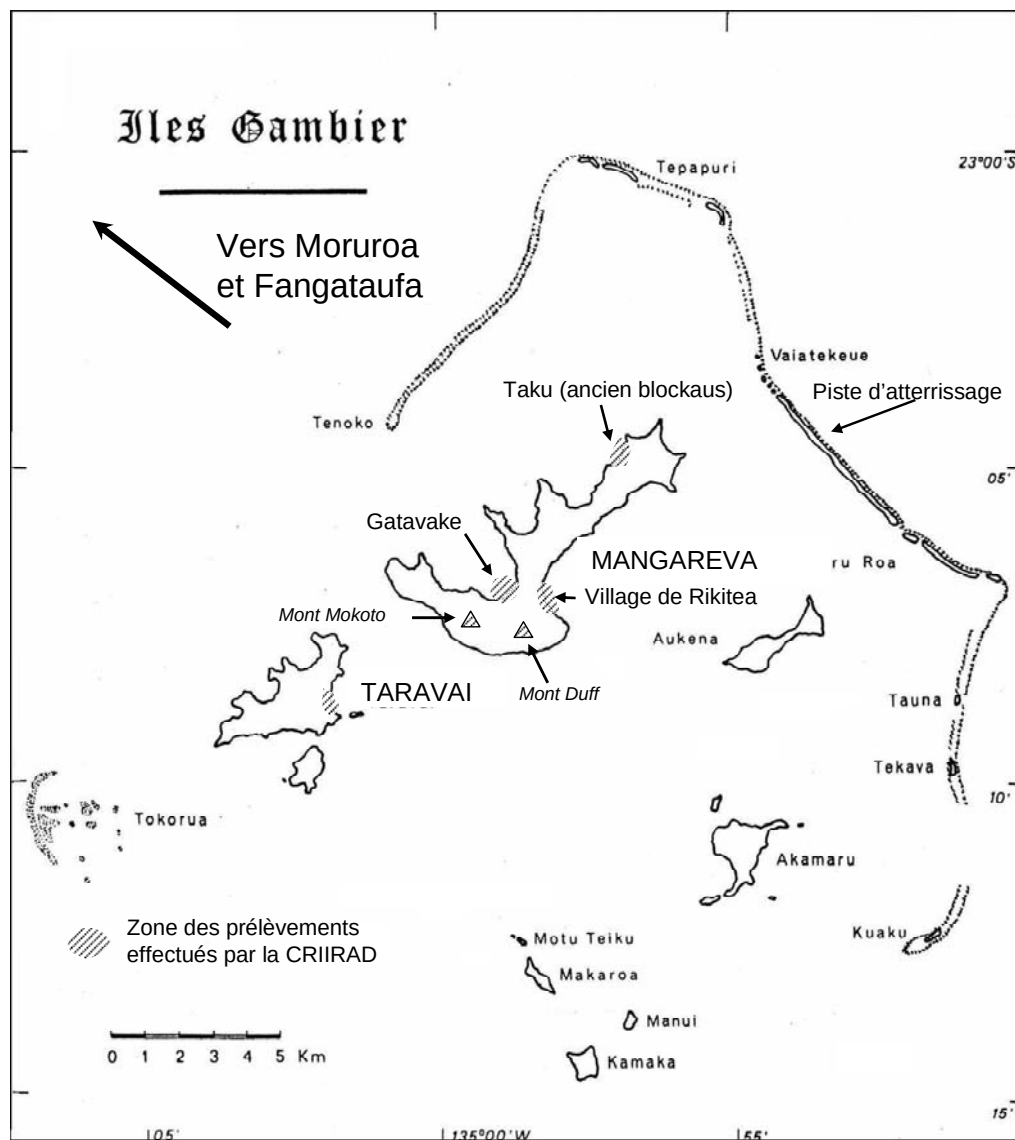
L'île de Mangareva a une superficie de 14 km². Elle culmine au Mont Duff (441 m).

Mangareva est divisée en 6 districts (Rikitea, Kirimiro, Gatavake, Atituiti, Akaputu et Taku).

Rikitea est le principal village de Mangareva et le chef lieu de la commune des Gambier.

Les principaux îlots proches de Mangareva figurent sur la [carte C2](#) ci-dessous.

**Carte C2 : localisation des sites prospectés par la CRIIRAD
aux Gambier (Mangareva et Taravai)**



4.2 Objectifs de la mission à Mangareva

D'après les documents officiels, les Gambier ont été exposées à des retombées radioactives importantes, en particulier en **1966 et 1971** (cf Damoclès N°112-114).

La mission CRIIRAD avait 2 objectifs :

- tenter de recueillir des résultats analytiques permettant d'appréhender l'intensité de la contamination à l'époque des retombées,
- déterminer le niveau de contamination résiduelle de l'environnement terrestre (sols, sédiments, eau, chaîne alimentaire) par les retombées associées aux essais nucléaires atmosphériques des années 1966 à 1974.

L'équipe CRIIRAD, présente aux Gambier du **4 au 9 octobre 2005**, a utilisé un scintillomètre très sensible afin de vérifier le niveau de rayonnement gamma au contact des sols et à proximité des anciennes installations (blockhaus militaire à Taku et abri pour la population à Rikitea).

Environ 5 jours de travail effectif ont été consacrés aux mesures radiométriques et échantillonnages à Mangareva.

Les secteurs d'échantillonnage figurent sur la [carte C2](#) ci-dessus et les coordonnées GPS de chaque site figurent dans le [tableau T4-1](#) ci-dessous.

Tableau T4-1 : Coordonnées GPS des principales stations de mesure ou d'échantillonnage à Mangareva et Taravai.

A / Relevés effectués à Mangareva et Taravai

N°	Lieu (code échantillon)	Distance au point N°1	Latitude	Longitude
1	Rikitea, Parvis cathédrale	0	S 23,12326	W 134,96848
2	Route du col de Gatavake		S 23,12234	W 134,96904
3	Col de Gatavake	650 m	S 23,12095	W 134,97429
4	Croisement vers chapelle ST Benoît, Gatavake	1 150 m	S 23,12050	W 134,97937
5	Extrémité sud piste, Gatavake		S 23,11330	W 135,00601
6	Marécage, côte ouest, direction Taku	3 170 m	S 23,09495	W 134,96402
7	Marécage, côte ouest, direction Taku		S 23,09704	W 134,96176
8	Blockhaus Taku	3 930 m	S 23,09112	W 134,95233
9	Mairie de Rikitea	440 m	S 23,11942	W 134,96973
10	Torrent Vaipapa nord Taku (sédiment S1)	5 350 m	S 23,08229	W 134,94057
11	Extrémité quai Taku	4 780 m	S 23,08409	W 134,94866
12	Cimetière église St Joseph, Taku	4 610 m	S 23,08638	W 134,94748
13	Pension de Famille Bianca, Rikitea	560 m	S 23,12757	W 134,96565
14	Eglise Saint-Joseph, Taku (carottage T3-T4-T5)	4 760 m	S 23,08468	W 134,94769
15	Caniveau Taku (carottage S2-S3-S4)	4 680 m	S 23,08534	W 134,94816
16	Parvis église St Gabriel Taravai	6 700 m	S 23,14543	W 135,02936
17	A 100 m du carottage (T7-T8-T9), ruines église, îlot Taravai	(à 180 m de GPS N°16)	S 23,14385	W 135,02994
17	Torrent Taravai (Carottage sédiment S5-S6-S7)	(à 180 m de GPS N°16)	S 23,14385	W 135,02994
18	bord lagon, Gatavake (Soupe de corail SC1)	1 750 m	S 23,11989	W 134,98525
19	près abri population Rikitea (Cocotier CO1)	1 280 m	S 23,11169	W 134,96778
20	Angle nord-est abri population Rikitea	1 240 m	S 23,11212	W 134,96753
21	Angle nord-ouest abri population Rikitea		S 23,11202	W 134,96780
22	Mur de séparation abri population Rikitea (ciment BA1)		S 23,11247	W 134,96811
23	Angle sud-ouest abri population Rikitea		S 23,11307	W 134,96846
24	Machinerie traitement de l'air abri population Rikitea (échantillons CA1, CA2 et MP1)		S 23,11284	W 134,96803
25	Toit du porche du vivier du roi, Rikitea (terre T10)	120 m	S 23,12281	W 134,96744
26	Réserve à Popoi, Rikitea (terre T11)	80 m	S 23,12370	W 134,96789
27	Chapelle sainte-Anne, Rikitea (carottage T12-T13-T14)	480 m	S 23,11913	W 134,97012
28	Tarodièr Gatavake (carottage S8-S9-S10, échantillon Tarua 1)	1 270 m	S 23,12087	W 134,98043

Des mesures radiamétriques ont été effectuées systématiquement au contact des sols, au moyen du scintillomètre DG5, en tous les lieux visités, y compris lorsque aucun échantillonnage n'a été effectué.

Le flux de rayonnement gamma est compris typiquement entre **10 c/s et 40 c/s**. Les niveaux bas sont enregistrés sur les sols coralliens (piste comportant de la soupe de corail par exemple). Les niveaux plus élevés sur les roches volcaniques.

L'utilisation du spectromètre de terrain (Target, Nanospec à cristal NaI) pour quantifier directement l'activité du césium 137 in situ a été rapidement abandonnée compte tenu des très faibles niveaux de contamination. En l'occurrence, seules les analyses sur échantillons en laboratoire permettent en effet de quantifier précisément la contamination résiduelle.

4.3 Carottages de sols

Objectifs

Comme indiqué au paragraphe 3.3.1 ci-dessus, il s'agit de tenter d'apprécier, a posteriori, à partir de carottages de sols, l'intensité des retombées surfaciques moyennes au niveau du sol (par dépôt sec ou dépôt lié aux précipitations).

La mesure en laboratoire de l'activité massique de chaque strate de sol, permet de recalculer l'activité surfacique équivalente piégée dans chaque strate, puis en additionnant les résultats de chaque strate, de calculer le dépôt total rémanent.

L'activité surfacique ainsi déterminée ne peut constituer qu'une estimation par défaut du dépôt initial compte tenu de nombreux facteurs. Si la décroissance radioactive des radionucléides peut être corrigée par le calcul, en fonction de leur période physique, par contre, l'amplitude de leur transfert à des couches plus profondes (du fait du ruissellement) ou de leur exportation hors du sol (via les plantes par exemple) sont des paramètres non maîtrisés. C'est pourquoi, afin de minimiser ces facteurs, il est impératif de choisir des sols plans, non cultivés.

Choix des sites

Les 3 sites de carottage ont été choisis après concertation avec Mme Monique Richeton, Maire de Rikitea et M. Gaston Mahaa, policier municipal. Il s'agissait de sélectionner des sols plans, non remaniés (depuis l'époque des retombées), susceptibles de présenter les meilleures garanties de conservation de la contamination ancienne de 30 à 40 ans.

Des mesures radiamétriques ont été effectuées au préalable par balayage aléatoire au scintillomètre DG5 sur les secteurs retenus afin de vérifier l'homogénéité des niveaux de rayonnement gamma.

Compte tenu de la répartition de la population sur l'île de Mangareva (Rikitea est le principal village de Mangareva) et de l'existence de données militaires démontrant de fortes retombées en 1966 à Taku (au nord-ouest de l'île) et Rikitea (au sud-est), un carottage a été effectué sur chaque site.

Les mesures radiamétriques effectuées sur le quai de Taku (15 c/s DG5) et à Rikitea, près du porche du vivier du roi (20 c/s), en présence de monsieur Papa Daniel Teakarotu n'ont révélé aucune anomalie. Ces contrôles ont été effectués précisément aux endroits où ce dernier avait réalisé, en 1966, des échantillonnages pour le SMCB (laboratoire militaire) à l'époque des retombées. Les carottages n'ont pas été effectués en ces sites, car les sols en place ne présentaient pas de bonnes garanties de conservation de la contamination.

Il n'a pas été possible d'effectuer un prélèvement en position centrale de l'île, au niveau de l'ancienne station météorologique de Mangareva, compte tenu de la végétation qui a envahi la piste d'accès et du temps limité de la mission.

Les carottages ont été effectués sur 30 centimètres, par strates de 10 cm.

- Le carottage TC1 a été effectué à l'ouest de **l'église Saint-Joseph à Taku**, sur l'île de Mangareva, sur une pelouse herbacée (terre grasse) présentant un niveau radiométrique moyen de 20 c/s DG5 (cf. photographie [N° T2-154 ci-dessous](#)). Le carottage a été poursuivi jusqu'au niveau du dallage sous-jacent.
- Le carottage TC3 a été effectué devant la **chapelle Sainte-Anne à Rikitea** sur l'île de Mangareva, sur une pelouse peu fournie présentant un niveau radiométrique moyen de 15 c/s DG5. La terre est sablonneuse avec une forte proportion de sable de corail.
- Afin de vérifier la variabilité des résultats, un carottage supplémentaire TC2 a été effectué sur **l'îlot de Taravai** situé à environ 6,7 km à vol d'oiseau de Rikitea. Il a été réalisé près d'une église en ruine, en sous-bois d'arbres à pain (Uru) et « Purau », sur sol nu (terre grasse) présentant un niveau radiométrique moyen de 20 c/s DG5 (cf. photographie [N° T2-271 ci-dessous](#)). Le carottage a été poursuivi jusqu'au substratum rocheux.

Les secteurs étudiés sont reportés sur la [carte C2](#) ci-dessus.



T2 / N°154 : Carottage de sol près de l'Eglise Saint-Joseph à Taku. CRIIRAD, le 5 octobre 2005.



T2 / N°271 : Carottage de sol en sous-bois à Taravai (Monsieur Maha homogénéise le prélèvement).
CRIIRAD, le 6 octobre 2005.

Présentation des résultats d'analyse

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées sur les 3 carottages de sol prélevés aux Gambier sont reportés dans les tableaux TC1, TC2 et TC3 en [Annexe 3](#).

Les principaux résultats d'analyse par spectrométrie gamma sont reportés dans le [tableau T4-2](#) ci-dessous, avec, dans le cas de Taku, les résultats des analyses de plutonium¹⁰.

Tableau T4-2 : Principaux résultats d'analyses en laboratoire sur les carottages de sol effectués à Mangareva et Taravai et sur de la soupe de corail de Gatavake (Mangareva)

Activités en Bq/kg sec									
Type	U 238 (Th 234) ⁽¹⁾	Ra 226 ⁽²⁾	Pb 210	Pb 212	K 40	Cs 137	Am 241	Pu 238	Pu 239-240
Carottage TC1 / Mangareva / Taku / Eglise Saint-Joseph / Terre grasse (20 c/s)									
Strate 0-10 cm	11,1	5,3	11,5	12,9	< 20	1,8	< 0,2	< 0,41	< 0,44
Strate 10-20 cm	7,5	6,3	4,8	13,2	< 15	0,7	< 0,2	< 0,85	< 0,99
Strate 20-30 cm	8,2	5,8	8,6	14,3	< 11	0,9	< 0,1	< 0,72	< 0,68
Carottage TC3 / Mangareva / Rikitea / Chapelle St Anne / Terre sablonneuse (15 c/s)									
Strate 0-10 cm	33,1	1,0	10,4	0,8	< 14	2,8	< 0,2	NM	NM
Strate 10-20 cm	32,3	1,1	< 3,8	0,6	< 10	0,5	< 0,2	NM	NM
Strate 20-30 cm	35,3	0,9	< 1,7	< 0,4	< 5	0,6	< 0,1	NM	NM
Carottage TC2 / Gambier / ilot Taravai / église en ruine / Terre grasse (20 c/s)									
Strate 0-10 cm	9,3	5,7	16,3	10,7	< 24	4,6	< 0,2	NM	NM
Strate 10-20 cm	8,3	6,2	12,9	11,4	< 18	6,8	< 0,2	NM	NM
Strate 20-30 cm	7,1	6,7	8,9	11,8	< 20	3,1	< 0,2	NM	NM
Soupe de corail SC1 / Mangareva / Gatavake / (10 c/s)									
surface	41,9	1,3	< 2,5	< 1,0	< 8	< 0,1	< 0,1	NM	NM

(1) L'activité de l'uranium 238 est estimée à partir de celle de son premier descendant, le thorium 234.

(2) L'activité du radium 226 est déterminée à partir de celle de ses descendants plomb et bismuth 214, hors équilibre
NM : Non Mesuré

Radionucléides artificiels émetteurs gamma

Un seul radionucléide artificiel émetteur gamma est détecté dans les 3 carottages, le **césium 137**.

Le césium 137 est détecté dans les 3 strates de chaque carottage : Taku (0,7 à 1,8 Bq/kg sec), Taravai (3,1 à 6,8 Bq/kg sec), Rikitea (0,5 à 2,8 Bq/kg sec).

Ces activités correspondent à une retombée surfacique rémanente en césium 137 dont l'ordre de grandeur peut être estimé à environ 400 Bq/m² à Taku, 500 Bq/m² à Rikitea et 1 500 Bq/m² à Taravai. Dans l'hypothèse où cette contamination proviendrait exclusivement des essais militaires français des années 1966 à 1974, soit 30 à 40 ans auparavant, les activités du dépôt initial étaient donc au moins 2 fois supérieures (la période physique du césium 137 est en effet de 30 ans) et probablement nettement plus si l'on tient compte de l'exportation du césium par les plantes et d'une certaine migration en profondeur du fait des pluies (la strate 20-30 cm contient encore du césium 137 ce qui montre que du césium est probablement présent plus en profondeur).

¹⁰ Le dosage du strontium 90 n'est pas disponible à la date de rédaction et fera l'objet d'une note séparée.

Remarques :

Pour les carottages de Taku et Rikitea, l'activité du césium 137 est sensiblement supérieure dans la strate de surface par rapport aux 2 autres strates plus profondes.

Le carottage de Taku présente la caractéristique d'avoir pu être poursuivi jusqu'à rencontrer le pavage de pierres des fondations latérales de l'église.

Les activités en césium 137 mesurées à Taravai sont environ 2 fois supérieures à celles des 2 autres carottages. Ceci peut être lié au fait que le carottage de Taravai a été effectué en sous-bois. L'étude des retombées de Tchernobyl en France a montré en effet que, dans les sols de sous-bois, les dépôts au sol étaient sensiblement supérieurs à ceux de plaine (plus grande surface d'interception par les feuillages des arbres).

Isotopes émetteurs alpha du plutonium et strontium 90

Compte tenu de la situation de Taku par rapport aux masses d'air en provenance des sites de tir de Moruroa et Fangataufa, le carottage TC1 a été choisi pour le dosage spécifique du strontium 90 et des isotopes émetteurs alpha du plutonium par le laboratoire de physique l'Université de Brême.

Pour les 3 strates analysées (voir [tableau T4-2](#) ci-dessus), les activités des isotopes émetteurs alpha du plutonium sont inférieures aux limites de détection : Pu 238 < 0,41 à 0,85 Bq/kg sec et Pu 239-240 < 0,44 à 0,99 Bq/kg sec.

Les résultats concernant le strontium 90 sont en attente et feront l'objet d'une note distincte.

Radionucléides naturels émetteurs gamma

Dans les 2 carottages correspondant à des sols bruns et gras (Taku et Taravai), les activités des radionucléides naturels émetteurs gamma des chaînes de l'uranium 238, de l'uranium 235, du thorium 232 et celle du potassium 40 sont faibles (inférieures à 20 Bq/kg).

De telles activités sont inférieures à la moyenne de l'écorce terrestre (environ 40 Bq/kg pour les descendants de l'uranium 238 et du thorium 232 et de 300 à 600 Bq/kg pour le potassium 40). Les chaînes de désintégration de l'uranium 238 et du thorium 232 apparaissent à l'équilibre (aux marges d'incertitude près). On remarque la diminution sensible de l'activité du plomb 210 avec la profondeur, ce qui illustre les apports atmosphériques liés à la décroissance du radon 222 de l'atmosphère.

Remarque concernant les sols coralliens

Dans le sol sablonneux du carottage de la chapelle Sainte-Anne (TC3) à Rikitea, constitué d'un matériau de type « soupe de corail », les activités de certains descendants de l'uranium 238 (radium 226) et des descendants du thorium 232 sont très faibles (par rapport à la moyenne de l'écorce terrestre) et souvent en limite des capacités de détection (< 2 Bq/kg sec).

Par contre, le thorium 234 (premier descendant de l'uranium 238) a une activité de l'ordre de 32 à 35 Bq/kg dans les 3 strates. La chaîne de l'uranium 238 est donc caractérisée par un déséquilibre Uranium 238-radium 226.

A titre exploratoire, une analyse par spectrométrie gamma a été effectuée sur un échantillon de soupe de corail (code SC1) prélevé à Gatavake sur une réserve de matériaux en vrac en cours d'extraction au bord du lagon. Le niveau de rayonnement gamma mesuré sur le tas est un des plus faibles enregistrés au cours de la mission (10 c/s DG5)

Il s'agissait de répondre à l'inquiétude manifestée par un habitant de Mangareva sur les risques liés à l'utilisation de ce type de matériau pour la construction.

Les résultats détaillés des analyses sont reportés dans le [tableau T6-5](#) au chapitre consacré à Hao et les principaux résultats ont été reportés dans le [tableau T4-2](#) ci-dessus.

Alors que l'activité du radium 226 est de 1,3 Bq/kg sec, celle du thorium 234 est de 42 Bq/kg sec. Sur des coraux prélevés à Hao (cf [paragraphe 6.6](#)), on a observé le même type de déséquilibre uranium 238-thorium 234 par rapport au radium 226

Ceci suggère que les coraux accumulent préférentiellement l'uranium par rapport au radium et que par conséquent les sols de type corallien sont susceptibles de présenter ce type de déséquilibre uranium 238 / radium 226. L'activité de l'uranium 238-thorium 234 dans les sols coralliens semble environ 3 à 4 fois supérieure à celle des terres « grasses ».

Pour le reste, les activités des descendants du thorium 232 et celle du potassium 40 sont inférieures aux limites de détection. Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est détecté (césium 137 < 0,1 Bq/kg sec).



T2 / N°92 : Prélèvement de sédiments S1 dans le torrent de Vaipapa au nord de Taku. CRIIRAD, octobre 2005.



T2 / N°173 : Carottage de sédiments SD1 dans un caniveau de Taku. CRIIRAD, le 5 octobre 2005.

4.4 Carottages de sédiments

Objectifs

Les radionucléides présents dans les masses d'air contaminées se déposent sur les sols (par dépôt sec ou du fait des précipitations). Ils sont en partie fixés dans le sol et la végétation à l'endroit du dépôt initial, et en partie entraînés ultérieurement par le ruissellement. Ils peuvent alors s'accumuler en contre bas des bassins versants. Il est intéressant d'analyser les couches sédimentaires correspondant à l'aval de ces bassins versants lorsque l'on cherche à retrouver des traces de contaminations anciennes.

Choix des sites

Trois stations d'échantillonnage de sédiments ont été retenues sur la façade ouest de l'île de Mangareva, au niveau des principaux bassins versants (cf [carte C2](#) ci-dessus et tableau des coordonnées GPS). En effet, la façade ouest a pu être plus directement soumise aux retombées en provenance de Moruroa et Fangataufa.

Un carottage complémentaire a été effectué en outre dans l'îlot de Taravai pour comparaison.

Des mesures radiométriques ont été effectuées au préalable, par balayage aléatoire au scintillomètre DG5, sur les secteurs retenus afin de vérifier l'homogénéité des niveaux de rayonnement gamma.

- L'échantillon S1 été prélevé sur 15 centimètres de profondeur dans le **torrent de Vaipapa** au nord de Taku (Mangareva), dans le lit du torrent, présentant un niveau radiométrique moyen de 20 c/s DG5. Il s'agit d'un sédiment très gras. Le torrent était peu alimenté lors du prélèvement. Il n'a pas été possible d'effectuer un carottage, le substratum rocheux étant atteint rapidement (cf. photographie [N°T2-92 page précédente](#)).
- Le carottage de sédiments SD1 a été effectué à **Taku**, au sud de l'Eglise Saint-Joseph dans un caniveau asséché présentant un niveau radiométrique moyen de 20 c/s DG5 (cf. photographie [N°T2-173 page précédente](#)).
- Le carottage de sédiments SD2 a été effectué sur l'îlot de **Taravai**, en sous-bois, en contrebas des ruines d'une église, dans le lit asséché d'un torrent présentant un niveau radiométrique moyen de 20 c/s DG5. Il s'agit d'un sol brun et gras (cf. photographie [N°T3-06 page suivante](#)).
- Le carottage de sédiments SD3 a été effectué dans **une tarodièrre à Gatavake**, au sud-ouest de Mangareva, sur un sol présentant un niveau radiométrique moyen de 20 c/s DG5. Cette tarodièrre correspond à une zone présentant a priori un fort potentiel d'accumulation du fait de stagnation possible des eaux provenant d'un cirque montagneux susceptible de recevoir les eaux ruisselant à la fois sur les pentes du Mont Duff, et du mont Mokoto. Ce site a été choisi après discussion avec monsieur Papa Daniel Teakarotu et monsieur Daniel Devaux (cf. photographie [N°T3-178 page suivante](#)). Ce dernier était en poste en qualité de météorologue à Mangareva, à partir de 1975. Il nous a indiqué que d'une façon générale, la pluviométrie était plus forte sur ce flanc de l'île du fait de l'interception des masses d'air par le cirque montagneux précité.

Présentation des résultats d'analyse

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées sur le sédiment superficiel S1 et les 3 carottages de sédiments sont reportés en [Annexe 3](#) dans les tableaux TSD1, TSD2 et TSD3 :

Les principaux résultats d'analyse par spectrométrie gamma sont reportés dans le [tableau T4-3](#) ci-dessous, avec, dans le cas du carottage de Gatavake, les résultats concernant le plutonium dans 2 des 3 strates¹¹.

¹¹ Le dosage du strontium 90 dans les 3 strates et du plutonium dans la strate supérieure ne sont pas disponibles à la date de rédaction et feront l'objet d'une note séparée.



T2 / N°185 : Arrivée sur l'îlot de Taravai. CRIIRAD , le 6 octobre 2005.



T3 / N°06 : secteur du carottage SD2 à Taravai. CRI IRAD, le 6 octobre 2005.



T3 / N°178 : secteur du carottage SD3 à Gatavake. C RIIRAD, le 8 octobre 2005.

Tableau T4-3 : Principaux résultats d'analyses en laboratoire sur le sédiment superficiel S1 et les 3 carottages de sédiments effectués à Mangareva et Taravai

Activités en Bq/kg sec										
Type	U 238 (Th 234) ⁽¹⁾	Ra 226 ⁽²⁾	Pb 210	Pb 212	K 40	Be 7	Cs 137	Am 241	Pu 238	Pu 239-240
Sédiment S1 / Mangareva / Torrent Vaipapa, nord Taku / (20 c/s)										
surface	10,1	7,4	18,8	14,2	< 29	< 1,6	2,9	< 0,3	NM	NM
Carottage SD1 (S2-S3-S4) / Mangareva / Taku / près Eglise Saint-Joseph / (20 c/s)										
Strate 0-10 cm	8,9	5,3	6,0	13,3	< 27	< 0,8	1,3	< 0,2	NM	NM
Strate 10-20 cm	3,8	5,8	8,5	13,4	< 22	< 0,7	1,2	< 0,2	NM	NM
Strate 20-30 cm	4,6	4,9	5,0	12,6	< 16	< 0,6	1,1	< 0,2	NM	NM
Carottage SD2 (S5-S6-S7) / Gambier / Taravai / près église en ruine / (20 c/s)										
Strate 0-10 cm	< 7,4	6,0	12,0	12,9	< 29	3,5	2,1	< 0,2	NM	NM
Strate 10-20 cm	13,0	5,4	14,2	11,5	< 23	< 1,6	2,7	< 0,3	NM	NM
Strate 20-30 cm	6,8	5,3	12,5	12,7	< 44	< 0,8	2,6	< 0,2	NM	NM
Carottage SD3 (S8-S9-S10) / Mangareva / Tarodièrre de Gatavake / (20 c/s)										
Strate 0-10 cm	10,6	6,1	8,6	12,0	< 59	1,4	2,1	< 0,2	NM ⁽³⁾	NM ⁽³⁾
Strate 10-20 cm	5,1	5,0	9,6	10,0	< 68	< 0,8	2,6	< 0,2	< 0,60	< 0,47
Strate 20-30 cm	10,7	6,7	5,9	11,1	< 49	< 0,9	3,1	< 0,2	< 0,84	< 0,98

(1) L'activité de l'uranium 238 est estimée à partir de celle de son premier descendant, le thorium 234.

(2) L'activité du radium 226 est déterminée à partir de celle de ses descendants plomb et bismuth 214, hors équilibre

NM : Non Mesuré

(3) Mesure en cours à la date de rédaction, une note complémentaire sera rédigée

Radionucléides artificiels émetteurs gamma

Un seul radionucléide artificiel émetteur gamma est détecté dans les 10 échantillons analysés, le **césium 137**.

Le césium 137 est détecté dans les 10 échantillons de sédiments : à la station S1 (2,9 Bq/kg sec) et dans les 3 strates des carottages effectués à Taku (1,3-1,2-1,1 Bq/kg sec), Gatavake (2,1-2,6-3,1 Bq/kg sec) et Taravai (2,1-2,7-2,6 Bq/kg sec). Les activités mesurées sont relativement proches, dans une fourchette de 1 à 3.

Isotopes émetteurs alpha du plutonium et strontium 90

Le carottage de sédiments de Gatavake à Mangareva a été choisi pour le dosage spécifique du strontium 90 et des isotopes émetteurs alpha du plutonium. Il correspondait en effet a priori au site présentant la plus grande capacité d'accumulation (hypothèse confirmée a posteriori par les résultats de dosage du césium 137).

Pour les 2 strates inférieures (strate supérieure en attente de résultat), les activités des isotopes émetteurs alpha du plutonium, mesurées par le laboratoire de physique de l'université de Brême, sont inférieures aux limites de détection : Pu 238 < 0,60 à 0,84 Bq/kg sec et Pu 239-240 < 0,47 à 0,98 Bq/kg sec.

Les résultats concernant le strontium 90 sont en attente et feront l'objet d'une note distincte.

Radionucléides naturels émetteurs gamma

Dans les 10 échantillons de sédiments analysés, les radionucléides naturels émetteurs gamma des chaînes de l'uranium 238, du thorium 232 et le potassium 40 présentent des activités faibles par rapport à la moyenne de l'écorce terrestre (inférieures à 20 Bq/kg). Pour tous les échantillons analysés, l'activité de l'uranium 235 est inférieure aux limites de détection.

Les chaînes de désintégration de l'uranium 238 et du thorium 232 sont globalement à l'équilibre (aux marges d'incertitude près).

On observe des traces de béryllium 7 dans la strate supérieure des carottages de sédiments du torrent à Taravai et de la tarodièrre de Gatavake. Il s'agit d'un radionucléide naturel d'origine cosmogénique et de courte période : 53 jours. Sa présence peut être l'indice relatif d'une surface de captation importante des bassins versants concernés.



T2 / N°68 : Contrôles radiamétriques dans un regard du système de canalisation des eaux de toiture de la cathédrale de Rikitea. CRIIRAD, le 5 octobre 2005.



T2 / N°259 : prélèvement de sol de gouttage du toit de l'église Saint Gabriel à Taravai. CRIIRAD, le 6 octobre 2005.

4.5 Sols superficiels et matériaux spécifiques

4.5.1 Objectifs

Contrairement aux carottages de sols présentés au paragraphe 4.3 ci-dessus, choisis pour être représentatifs de milieux ayant conservé au mieux les retombées atmosphériques moyennes « brutes », d'autres échantillons de sols et matériaux ont été recherchés en des points d'accumulation potentielle.

Il s'agissait de sélectionner des emplacements où, du fait de l'interception des masses d'air contaminées par une large surface (une toiture, un mur vertical, etc.), puis de leur transfert par les pluies, la terre était susceptible d'avoir subi le ruissellement et l'accumulation de radionucléides associés à un dépôt de plusieurs mètres carrés, voire dizaines de mètres carrés.

Beaucoup d'efforts ont été engagés pour identifier de tels sites. L'idéal aurait été de retrouver par exemple des citernes de récupération des eaux pluviales datant du début des années soixante afin d'y rechercher des boues de décantation.

4.5.2 Recherche de sites d'accumulation potentielle à Rikitea

Abords de la cathédrale

A Rikitea, les systèmes de récupération des eaux de toiture de la **cathédrale** ont été refaits dans les années 70.

Les mesures de flux de rayonnement gamma en surface, en pied de toiture, et dans les regards en ciment des systèmes de drainage des eaux pluviales n'ont révélé aucun secteur singulier (cf. photographie [N°T2-68 page précédente](#)). Le niveau de rayonnement gamma est de l'ordre de 15 à 40 c/s DG5 au contact des matériaux. Les valeurs les plus faibles (15 c/s) correspondent à des matériaux de type corallien (murs de la cathédrale), les valeurs les plus élevées (30 à 40 c/s) à des dalles de type volcanique.

A défaut, nous avons effectué :

- un sondage à la pelle au fond du « trou à Popoï » situé en contrebas de la cathédrale. Il s'agit d'un réservoir circulaire de 3 mètres de profondeur environ et 5,5 mètres de diamètre. Le réservoir est à ciel ouvert et n'a jamais été recouvert depuis 1956 d'après monsieur Gaston Mahaa, policier municipal. On mesure de 30 à 40 c/s sur la maçonnerie intérieure en pierre volcanique et 20 à 30 c/s sur la terre de fond. Le sondage a permis d'atteindre l'eau à – 70 cm. Un échantillon de terre brune (T11) a été prélevé juste au dessus du niveau d'eau (-50 à – 60 cm).
- un échantillonnage de terre (T10) sur environ 5 centimètres d'épaisseur, entre les dalles de couverture du toit du porche du vivier du Roi (à 120 mètres du parvis de la cathédrale). Ce bâtiment est bien antérieur à 1950. Cette terre est a priori constituée d'apports atmosphériques et a pu accumuler les radionucléides déposés sur les petites dalles.

Abords du hangar qui a servi d'abri à la population

A Rikitea, plusieurs heures ont été consacrées à effectuer des contrôles radiométriques dans et autour du hangar qui servait d'abri à la population (cf. [photographies page suivante](#)).

Ce hangar est situé au bord du lagon à environ 1,2 km de la cathédrale. Ses dimensions sont d'environ 40 mètres par 130 mètres (estimation au GPS). Il est utilisé aujourd'hui par les services techniques de la mairie et sert également aux ouvrières pour préparer le matériel servant à la perliculture.



T3 / N°47 : contrôles radiométriques le long de l'ancien caniveau de récupération des eaux de lavage de la façade ouest du toit du hangar destiné à protéger la population à Rikitea (Mangareva). CRIIRAD, le 7 octobre 2005.



T4 / N°13 : échantillonnage de ciment poreux de l'ancien caniveau de récupération des eaux de lavage de la façade ouest du toit du hangar destiné à protéger la population à Rikitea (Mangareva). CRIIRAD, le 8 octobre 2005.



T4 / N°15 : échantillonnage de ciment poreux de l'ancien caniveau de récupération des eaux de lavage de la façade ouest du toit du hangar destiné à protéger la population à Rikitea (Mangareva). CRIIRAD, le 8 octobre 2005.

Les mesures de flux de rayonnement gamma effectuées dans toutes les sections du hangar, par balayage aléatoire, n'ont révélé aucune anomalie. On note une certaine variabilité en fonction des matériaux (de 30-40 c/s sur les dalles en ciment brut à 50-70 c/s sur certains revêtements de sol de couleur verte). Ces variations sont très probablement liées aux différences de composition des matériaux¹².

Selon plusieurs témoins locaux, après les retombées radioactives, les militaires lavaient les toitures afin de les décontaminer. Trois caniveaux de récupération des eaux de toiture du hangar, perpendiculaires à sa plus grande dimension, permettaient de les rejeter au lagon. Ces canalisations ont été détruites ou, pour l'une d'entre elles, transformée en fosse septique. Il n'était donc pas possible d'échantillonner un sol ou un sédiment susceptible d'avoir subi un dépôt élevé de radionucléides par décantation de ces eaux. Par ailleurs, la toiture lisse ne présentait pas de secteurs propices à des accumulations.

Un balayage radiamétrique systématique a été effectué à l'extérieur du hangar au contact du caniveau béton parallèle au mur porteur, et qui recevait les eaux de toiture de la face ouest. Ces mesures n'ont révélé aucune anomalie (20 c/s en moyenne sur la terre et 25 à 45 c/s sur le ciment du caniveau). A défaut de repérer un point d'accumulation au radiamètre, un échantillon de ciment poreux du joint du caniveau a été prélevé pour analyse (BA1). Compte tenu du lessivage par les pluies depuis plus de 30 ans, la probabilité de retrouver une contamination liée aux retombées de l'époque est cependant très faible.

4.5.3 Recherche de sites d'accumulation potentielle à Taravai

La recherche de vieilles citernes ou de bâtiments anciens, nous a conduits à l'îlot de Taravai, où, à défaut de découvrir ce type de citerne¹³, nous avons échantillonné la terre (T6) de la zone de gouttage, sur environ 10 centimètres de profondeur, en pied de toiture ouest de l'église Saint Gabriel (cf. photographie [N°T2-259](#), pages précédentes).

Depuis les années 50, il est certain que le toit de l'église n'a pas été refait. Le flux de rayonnement gamma a été mesuré au contact du sol sur tout le pourtour de l'église.

L'échantillon a été volontairement prélevé au droit d'un des secteurs présentant les niveaux radiamétriques les plus élevés (30 c/s pour un niveau naturel typique de 15-20 c/s), tout en sachant que l'augmentation du niveau de rayonnement était probablement d'origine naturelle : due à la différence de substratum (présence de pavages de pierres noires de type volcanique à proximité de l'église).

4.5.4 Recherche de sites d'accumulation potentielle à Taku

A Taku, des contrôles radiamétriques ont été effectués autour et dans l'ancien **blockhaus militaire** (cf. [photographies page suivante](#)).

Le blockhaus est un parallélépipède de 26,2 mètres par 11,2 mètres avec des murs de 60 centimètres d'épaisseur.

L'intérieur est totalement vide. Il ne subsiste rien des systèmes de filtration d'air.

Les mesures radiamétriques en surface n'ont révélé aucune anomalie. Le niveau de rayonnement gamma est compris entre 15 et 30 c/s sur la terre et jusqu'à 40 c/s sur le ciment, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du blockhaus. Des valeurs supérieures à 40 c/s ont été mesurées ponctuellement (50 à 60 c/s) mais dans des conditions géométriques (fond de regard, cavité) qui font que la contribution des parois explique l'augmentation (cf. résultats ci-dessous).

¹² Dans le cas du revêtement vert par exemple, l'enregistrement d'un spectre gamma NaI qualitatif sur le terrain, suggère que l'émission gamma est liée à des radionucléides naturels descendants du radium 226, thorium 232 et K40.

¹³ Il s'est avéré en fait que l'ancienne citerne près du presbytère consistait en un puits permettant de collecter des eaux saumâtres à proximité du lagon et non pas à un système de récupération d'eaux pluviales. Les autres systèmes de récupération en place que nous avons pu examiner étaient soit détruits, soit de facture trop récente (cuves en plastique).



T3 / N°135 : contrôles radiométriques devant l'entrée du blockhaus destiné à protéger les militaires à Taku (Mangareva). L'épaisseur des murs est de 60 centimètres. CRIIRAD, le 8 octobre 2005.



T3 / N°153 : échantillonnage de fibrociment dans l'ancienne canalisation de récupération des eaux de toiture du blockhaus destiné à protéger les militaires à Taku (Mangareva). L'épaisseur des murs est de 60 centimètres. CRIIRAD, le 8 octobre 2005.



T2 / N°135 : contrôles radiométriques au voisinage de l'ancien blockhaus destiné à protéger les militaires à Taku (Mangareva). CRIIRAD le 5 octobre 2005.

Les échantillons prélevés à Taku sont listés ci-dessous :

- fibro ciment (FC1, 40 c/s) de la partie interne du coude de l'ancienne tuyauterie d'évacuation des eaux de toiture (angle nord-est du blockhaus). Cet échantillon a été prélevé à défaut de pouvoir échantillonner des boues au fond de la fosse de décantation souterraine située au nord du blockhaus (présence d'eau et de matériaux volumineux empêchant le raclage de boues).
- terre (T2, 40 c/s, effet géométrique) au sud du blockhaus et terre (T15, 60 c/s, effet géométrique) à l'angle sud-est du blockhaus, entre le socle béton horizontal et la paroi métallique verticale. Ces échantillons pourraient être un point d'accumulation potentiel du ruissellement le long des parois métalliques verticales.
- terre (PT1) au fond du regard de la prise de terre (-10 à -15 cm) en pied de margelle ouest du blockhaus.
- terre (T16, 50 c/s) au fond d'un bac de décantation ayant pu recueillir des eaux de lavage du sol d'un ancien bâtiment militaire carré (toit en tôle ondulée) situé à Taku, en bordure de lagon au sud du quai.

Présentation des résultats d'analyse

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées sur les échantillons listés ci-dessus sont reportés en [annexe 3](#), dans les tableaux :

- TAC : échantillons collectés à Taravai et à Rikitea (Mangareva, à proximité de la cathédrale et de l'abri),
- TB : échantillons collectés à Taku (Mangareva).

Les principaux résultats d'analyse par spectrométrie gamma sont reportés dans le [tableau T4-4](#) ci-dessous.

Radionucléides artificiels émetteurs gamma

Un seul radionucléide artificiel émetteur gamma est détecté dans certains des échantillons, le **césium 137**.

Le césium 137 est détecté dans la terre de gouttage de l'église de Taravai (8,9 Bq/kg sec), la terre du porche du vivier du roi (2,5 Bq/kg sec), les trois échantillons de terre prélevés à proximité du blockhaus à Taku (2,5 à 6,3 Bq/kg sec) et la terre du décanteur de lavage du sol d'un bâtiment militaire à Taku (13,7 Bq/kg sec).

Ces activités sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les carottages de sols et sédiments.

Les valeurs les plus élevées correspondent bien à des points d'accumulation (terre de gouttage à Taravai, terre du décanteur à Taku). Les accumulations restent cependant très limitées.

Isotopes émetteurs alpha du plutonium et strontium 90

Note : dans le cas de la terre du décanteur des eaux de lavage du sol d'un bâtiment militaire à Taku (T16) et du sol de gouttage de l'église de Taravai (T6), les résultats concernant le plutonium et le strontium sont en attente. Ces échantillons ont été sélectionnés à l'issue des résultats des analyses par spectrométrie gamma. En effet, les activités en césium 137, sensiblement plus élevées que dans les autres échantillons, confirment, a posteriori, qu'ils correspondent à des points de relative accumulation.

Tableau T4-4 : Principaux résultats d'analyses en laboratoire sur les échantillons T6, T10, T11 et BA1 prélevés à Mangareva et Taravai et T2, T15, T16, PT1 et FC1 prélevés à Taku (Mangareva)

Type	Activités en Bq/kg sec									
	U 238 (Th 234) ⁽¹⁾	Ra 226 ⁽²⁾	Pb 210	Pb 212	K 40	Be 7	Cs 137	Am 241	Pu 238	Pu 239-240
Terre T6 / Taravai / gouttage toit église St Gabriel / (30 c/s)										
Terre T6	28,8	4,2	40,6	4,6	< 19	3,7	8,9	< 0,2	NM ⁽³⁾	NM ⁽³⁾
Terre T10 / Rikitea / entre dalles de couverture du toit du vivier du roi										
Terre T10	45,9	1,5	24,5	1,3	< 12	6,4	2,5	< 0,2	NM	NM
Terre T11 / Rikitea près cathédrale / fond trou à popoi / (30 c/s)										
Terre T11	< 34	8,4	< 45	12,4	< 98	< 8	< 1,2	< 1,5	NM	NM
Ciment BA1 / Rikitea près abri / ancien caniveau de récupération des eaux de toiture / (45 c/s)										
Ciment BA1	< 70	3,5	< 12	10,0	< 55	< 5	< 0,8	< 0,7	NM	NM
Terre T2 / Taku / bordure sud, socle et paroi du blockhaus / (40 c/s)										
Terre T2	21,0	3,9	34,6	6,7	< 41	4,8	2,5	< 0,2	NM	NM
Terre T15 / Taku / angle sud-est, entre socle et paroi du blockhaus / (60 c/s)										
Terre T15	< 55	5,8	< 17	6,3	< 132	< 7	5,0	< 1,0	NM	NM
Terre PT1 / Taku / dans prise de terre, ouest du blockhaus										
Terre PT1	< 35	11,0	< 23	15,0	< 108	< 8	6,3	< 1,3	NM	NM
Fibro-ciment FC1 / Taku / dans pluviale angle nord-est du blockhaus / (40 c/s)										
Fibro FC1	< 40	18,3	23,6	7,5	< 72	< 5	< 0,6	< 0,8	NM	NM
Terre T16 / Taku / décanteur lavage sol hangar militaire / (50 c/s)										
Terre T16	< 33	< 15	174,0	8,1	< 133	< 11	13,7	< 2,2	NM ⁽³⁾	NM ⁽³⁾

(1) L'activité de l'uranium 238 est estimée à partir de celle de son premier descendant, le thorium 234.

(2) L'activité du radium 226 est déterminée à partir de celle de ses descendants plomb et bismuth 214, hors équilibre

NM : Non Mesuré

(3) Mesure en cours à la date de rédaction, une note complémentaire sera rédigée

Radionucléides naturels émetteurs gamma

Dans les huit échantillons de terre, joint ciment et fibro ciment analysés, les radionucléides naturels émetteurs gamma des chaînes de l'uranium 238, de l'uranium 235, du thorium 232 et le potassium 40 présentent des activités faibles (souvent inférieures à 20 Bq/kg).

Dans certains échantillons de terre (T6, T10 et T2), la chaîne de l'uranium 238 est caractérisée par un déséquilibre uranium 238-radon 222. Par exemple, dans le cas de la terre de gouttage de l'église de Taravai, le thorium 234 (premier descendant de l'uranium 238) a une activité de 29 Bq/kg, alors que celle du radium 226¹⁴ est de l'ordre de 4 Bq/kg. Dans aucun de ces échantillons cependant, l'uranium 235 ne présente une activité supérieure aux limites de détection.

On note également, dans de nombreux échantillons de terre, un excès de plomb 210 d'un facteur 10 environ, par rapport au radium 226 (sol de gouttage T6 de l'église de Taravai, terre T10 du porche du vivier du Roi, terre T2 en bordure du blockhaus, terre T16 du décanteur du lavage du sol d'un ancien bâtiment militaire à Taku). Ceci montre que ces échantillons sont directement soumis aux apports d'origine atmosphérique. En effet, la désintégration du radon 222 présent dans

¹⁴ Dans le cas de cet échantillon, l'analyse a été effectuée à l'équilibre entre radium 226-plomb 214 et bismuth 214, l'activité du radium 226 est donc mesurée avec précision.

l'atmosphère aboutit à un dépôt de plomb 210, en surface. La période relativement longue du plomb 210 (22,3 ans) rend possible un phénomène d'accumulation.

Le fait que l'échantillon T16 présente la plus forte activité en plomb 210 confirme qu'il constitue un point d'accumulation des dépôts atmosphériques.

4.6 Filtres à air de l'abri de Rikitea

Objectifs

Dans le cas d'une contamination d'origine atmosphérique, il est indispensable pour apprécier l'impact sanitaire, de quantifier précisément tous les radionucléides présents dans l'air et les précipitations (puis dans les sols, végétaux, etc.).

Les archives militaires accessibles donnent quelques précisions sur ce point mais les résultats sont très difficiles à interpréter (mesures d'activité bêta globale). Les documents de l'époque ne donnent pas de précisions sur la présence éventuelle de radionucléides émetteurs alpha (uranium, plutonium), ou de radionucléides émetteurs bêta de basse énergie (tritium et carbone 14).

Tenter de combler ces lacunes plus de 30 ans après est extrêmement difficile. Dans le cadre de cette étude préliminaire, en complément à l'analyse de carottages de sols et sédiments ou à la recherche de points d'accumulations par ruissellement, nous avons souhaité explorer 2 pistes : analyser des filtres à air de l'époque des retombées et analyser une section du tronc d'un arbre (cf. [paragraphe 4.7 ci-après](#)).

S'agissant des filtres à air, retrouver des filtres de climatisation ou des filtres à air de moteur diesel de l'époque aurait pu être intéressant. Les discussions avec Mme le Maire et M. Mahaa, policier municipal, nous ont convaincu qu'il était peu probable de trouver ce type de matériaux.

Les filtres à air du blockhaus n'étant plus en place, il était utile d'examiner de plus près la situation de l'abri.

Constatations in situ

L'examen du hangar qui servait d'abri à la population de Rikitea a permis de retrouver deux des machineries de décontamination de l'air, sur la façade côté lagon.

Un autre poste de traitement de l'air situé sur la même façade était totalement démantelé.

L'air était puisé à l'extérieur et forcé dans le hangar à travers deux types de matériaux filtrants : des filtres papier de type millipore permettant de retenir une partie des aérosols et des caissons à charbon actif permettant de retenir certains gaz radioactifs comme les isotopes de l'iode.

Certains des caissons à charbon actif comportaient des précisions lisibles dont des dates (24 juin 1968). Ces dispositifs de filtration n'étaient donc pas opérationnels lors des retombées de 1966, ce qui est en accord avec les témoignages recueillis sur place.

Une des machineries était encore intacte, les caissons étant fixés au bâti de la machine, l'autre était en partie disloquée. Les contrôles radiométriques effectués au contact des caissons n'ayant révélé aucune anomalie, les caissons ont été ouverts à l'aide d'une pelle mécanique.

Les caissons de la machine intacte contenaient de l'eau. Ceci pouvait suggérer qu'elle avait pu être soumise aux intempéries postérieurement à la période des essais. Ces matériaux n'ont pas été échantillonnés.

Le contenu des caissons de la machine disloquée étant sec, ils présentaient de meilleures garanties de conservation. Du charbon actif a été prélevé dans 2 des caissons (CA1 et CA2) ainsi que des filtres millipore (MP1).

Les planches photographiques des [2 pages suivantes](#) illustrent les prélèvements sur le système de filtration de l'abri.



T2 / N°86 : Hangar servant d'abri pour la population à Rikitea (Mangareva) après 1967 / Photographie remise par monsieur Daniel Teakarotu



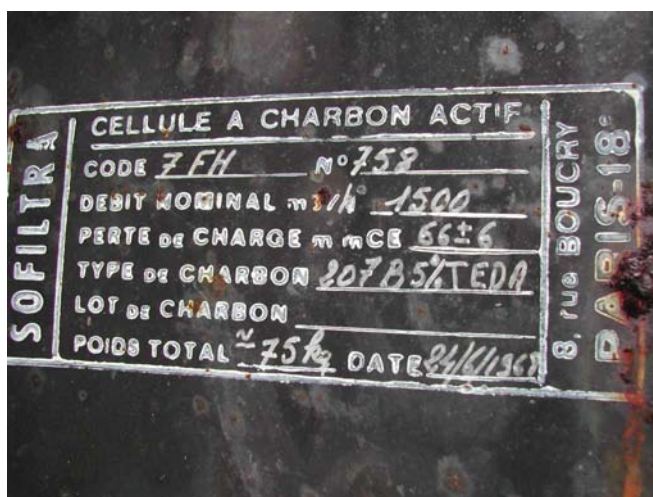
**T3 / N°87 : Localisation du bâtiment contenant les anciens dispositifs de filtration de l'air sur la façade est du hangar destiné à la protection des populations lors des retombées radioactives à Rikitea (Mangareva).
CRIIRAD, le 7 octobre 2005.**



**T3 / N°83 : caissons à charbon actif et caissons à filtres Millipore destinés à épurer l'air des iodes et aérosols radioactifs avant insufflation dans le hangar destiné à la protection des populations lors des retombées radioactives à Rikitea (Mangareva).
CRIIRAD, le 7 octobre 2005.**



T3 / N°67 : extraction au tractopelle des caissons à charbon actif destinés à épurer l'air des iodes radioactifs avant insufflation dans le hangar destiné à la protection des populations lors des retombées radioactives à Rikitea (Mangareva). CRIIRAD, le 7 octobre 2005.



T3 / N°56 : caisson à charbon actif destiné à épurer l'air des iodes radioactifs avant insufflation dans le hangar destiné à la protection des populations lors des retombées radioactives à Rikitea (Mangareva). Débit nominal 1 500 M3/h, Date 24 juin 1968. / CRIIRAD, le 7 octobre 2005.



T3 / N°82 : échantillonnage du charbon actif destiné à épurer l'air des iodes radioactifs avant insufflation dans le hangar destiné à la protection des populations lors des retombées radioactives à Rikitea (Mangareva). CRIIRAD, le 7 octobre 2005.

Présentation des résultats d'analyse

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées sur les filtres de l'abri sont reportés dans le [tableau T4-5](#) ci-après.

Radionucléides artificiels

Un seul radionucléide artificiel émetteur gamma est détecté dans certains échantillons, le **césium 137**.

Le césium 137 est détecté dans l'échantillon de filtre papier (14,6 Bq/kg) et dans le charbon actif CA1 (0,86 Bq/kg). Il n'est pas détecté dans l'échantillon CA 2 ($< 0,3$ Bq/kg).

Le fait que l'activité mesurée sur le filtre soit près de 17 fois supérieure à celle relevée sur les cartouches est cohérent. Suite à des essais atmosphériques, le césium se présente en effet dans l'air sous forme d'aérosols qui sont retenus préférentiellement par le filtre papier. Les cartouches à charbon servent à piéger préférentiellement les radionucléides sous forme gazeuse comme l'iode.

On notera à ce propos que l'activité du seul isotope émetteur gamma à longue période de l'iode, l'iode 129 (période 15,7 millions d'années) est inférieure à la limite de détection : $< 0,1$ Bq/kg dans l'échantillon de charbon actif CA1). Ceci pourrait confirmer qu'en proportion, la quantité d'iode 129 rejetée par les essais nucléaires est trop faible, par rapport à celle des isotopes à courte période de l'iode. Il semble donc difficile de compter sur le dosage de l'iode 129 pour pouvoir reconstituer, a posteriori, l'activité initiale des iodes radioactifs à courte période.

On notera également que l'américium 241 (descendant du plutonium 241) n'est détecté dans aucun échantillon ($< 0,1$ Bq/kg dans le charbon actif CA1 et $< 0,4$ Bq/kg dans le filtre papier).

Ces résultats ne peuvent cependant être interprétés plus avant dans la mesure où l'on ne connaît ni la durée, ni les dates d'utilisation des systèmes de prélèvement d'air, ni le volume d'air filtré. On notera que les témoignages recueillis par monsieur Bruno Barrillot indiquent que l'abri a bien été utilisé durant les essais de 1968. Ces essais ayant eu lieu de juillet à septembre 1968 et les dates relevées sur les caissons de charbon actif étant de juin 1968, on peut penser que les matériaux filtrants prélevés par la CRIIRAD ont probablement été utilisés pendant les essais de la campagne 1968.

Note : les dosages du strontium 90 et des isotopes émetteurs alpha du plutonium dans le filtre sont en cours à la date de rédaction. Ils feront l'objet d'une présentation dans une note séparée. Ces dosages ne sont pas prévus dans le charbon actif dans la mesure où, ces radionucléides étant sous forme d'aérosols, ils ont plus de chances d'être piégés par le filtre papier que par les filtres à charbon actif.

Radionucléides naturels émetteurs gamma

Dans les échantillons de charbon actif, on détecte certains radionucléides naturels émetteurs gamma des chaînes de l'uranium 238 (thorium 234, radium 226 et plomb 210, environ 5 Bq/kg) et du thorium 232 (environ 4 Bq/kg).

Dans le filtre papier, on détecte également certains radionucléides naturels émetteurs gamma des chaînes de l'uranium 238 (radium 226 et plomb 210, environ 15 à 28 Bq/kg), du thorium 232 (environ 16 Bq/kg) et le potassium 40 (322 Bq/kg).

Ces résultats ne révèlent aucune anomalie. On notera en particulier que les activités de l'uranium 238-thorium 234 et surtout de l'uranium 235 restent inférieures aux limites de détection.

Tableau T4-5 : / échantillons de charbon actif (année 1968) et filtres millipore des anciens systèmes de décontamination de l'air de l'abri de Rikitea / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A43	181005A44	181005A45
Code prélèvement	CA1	CA2	MP1
Nature de l'échantillon	Charbon actif	Charbon actif	Filtre millipore
Lieu de prélèvement	Abri population	Abri population	Abri population
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	07/10/2005	07/10/2005	07/10/2005
N°analyse	21993	21943	21936
Géométrie	B MAR	C MAR	C MAR
Etat Frais / Sec	f	f	f
Masse analysée (g)	428,18	356,26	128,12
Temps de comptage (s)	258 808	32 290	258 790
Date de la mesure	18/11/2005	27/10/2005	21/10/2005

Naturels	Energie (KeV)	Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme					
Chaîne de l'uranium 238							
Th234*	63,3	<	7,1	<	9,7	<	23,5
Ra226**	186,1	5,0	± 0,9	6,0	± 1,7	14,8	± 3,2
Pb214	351,9	5,2	± 0,9	5,9	± 1,6	16,3	± 3,2
Bi214	609,3	4,8	± 0,9	6,0	± 1,8	13,4	± 3,2
Pb210*	46,5	4,8	± 2,1	9,0	± 6,7	28,4	± 10,7
Chaîne de l'uranium 235							
U235	163,4	<	0,9	<	3,6	<	10,0
Chaîne du thorium 232							
Ac228	911,2	3,9	± 1,0	4,3	± 2,3	16,0	± 5,3
Pb212	238,6	4,5	± 0,7	4,5	± 1,1	16,4	± 2,8
Tl208	583,0	1,4	± 0,3	1,8	± 0,7	5,9	± 1,5
K40	1 460,8	<	26,5	<	30,4	322	± 45
Be7	477,6	<	0,5	<	1,8	<	6,2

Artificiels	Energie (KeV)				
Cs137	661,6	0,86 ± 0,19	< 0,3	14,6 ± 2,2	
Cs134	604,7	< 0,1	< 0,2	< 0,2	
Co58	810,8	< 0,1	< 0,3	< 0,3	
Co60	1 332,5	< 0,0	< 0,2	< 0,2	
Mn54	834,8	< 0,1	< 0,3	< 0,3	
Sb125	427,9	< 0,2	< 0,6	< 0,7	
I131	364,5	< 2,2	< 1,3	< 0,8	
Ce144	133,5	< 0,4	< 1,3	< 1,3	
Ag110m	657,7	< 0,1	< 0,2	< 0,2	
Am241*	59,5	< 0,1	< 0,4	< 0,4	
I129*	29,6	< 0,1	< 0,4	< 0,5	
Ru106	621,9	< 0,6	< 2,4	< 2,3	

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

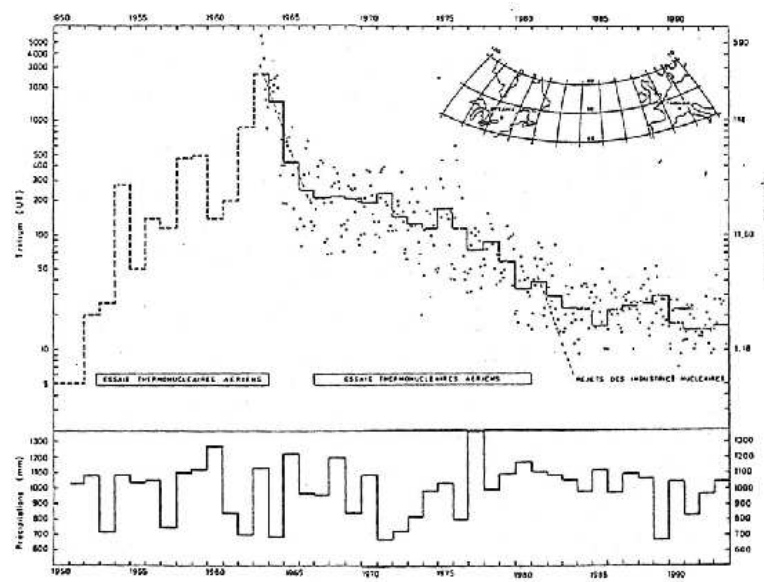
4.7 Analyse de tranches de cocotier

Objectifs

Les essais nucléaires ont rejeté dans l'atmosphère de grandes quantités de tritium (hydrogène radioactif) et de carbone 14 (carbone radioactif).

Le [graphique G1](#) ci-après¹⁵ montre que l'activité du tritium dans l'eau de pluie mesurée en métropole à Thonon-les-Bains (Haute-Savoie) a augmenté de façon marquée (plus de 500 Bq/l en 1963) pour diminuer progressivement ensuite. De nos jours, l'activité du tritium dans les eaux de pluie (hors influence des sites nucléaires) est le plus souvent inférieure à 2 Bq/l.

G1 / Activité du tritium dans les précipitations à Thonon-les-Bains (Haute-Savoie) de 1963 à 1993 (Bq/l sur l'échelle de droite) / Laboratoire de Thonon / Professeur Olive



Graphique 1 : Teneurs en tritium mensuelles(•) et annuelles(-) dans les précipitations à Thonon de 1963 à 1993 ainsi que les hauteurs annuelles des précipitations [P. Olive et al, 1996].

Le [graphique G2](#) ci-après¹⁶ montre qu'au début des années soixante, la concentration du carbone 14 dans l'air de la troposphère de l'hémisphère nord a augmenté de façon très importante (doublement par rapport au niveau naturel), a atteint un point culminant en 1963 et a progressivement décru par la suite. Il en est résulté une augmentation de l'activité du carbone 14 dans les cheveux et le sang humain (mesures effectuées en Scandinavie).

Même si la contamination globale des 2 hémisphères présente des différences, ces résultats illustrent bien les grandes tendances.

La matière vivante étant faite de carbone et d'hydrogène, les essais nucléaires atmosphériques ont contaminé l'ensemble des êtres vivants.

¹⁵ Olive et al, 1996 : Estimation pratique de «l'âge» des eaux souterraines en Europe par le tritium. Rev. Sci. Eau 4 523-533.

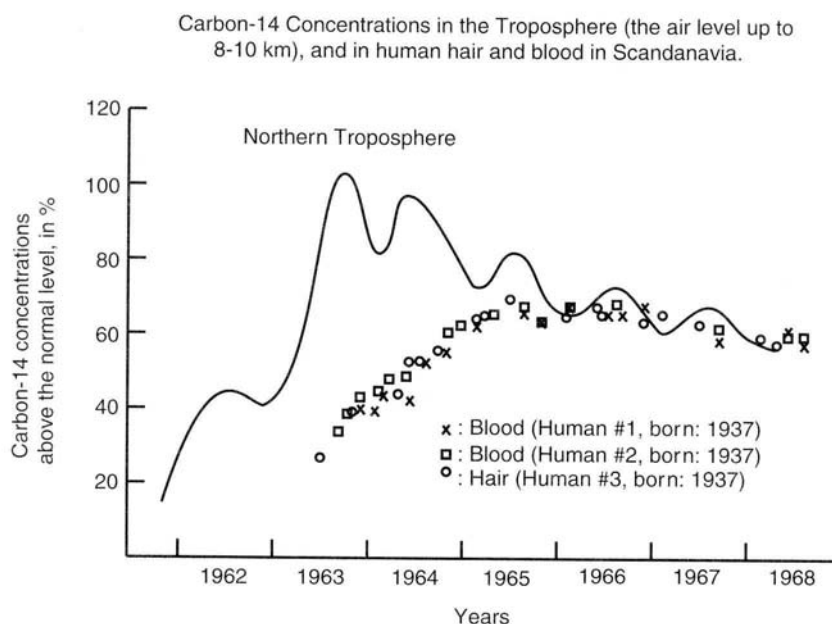
¹⁶ Ralph Graeb / The Petkau Effect / The devastating Effect of Nuclear Radiation on Human Health and the Environment / Four Walls Eight Windows, New York, 1994.

Les végétaux métabolisent le tritium et le carbone 14. Une partie du tritium contenu dans l'eau est associée, dans les cellules des végétaux, à des molécules organiques. On parle alors de tritium organiquement lié ou OBT (Organically Bound Tritium, en anglais).

Compte tenu de la longue période du tritium et du carbone 14, l'analyse de cernes d'arbres peut permettre, même plusieurs décennies après une contamination, de la mettre en évidence.

Pour pouvoir réaliser un travail précis, il est nécessaire de choisir une espèce d'arbre qui présente des cernes de croissance clairement individualisées, qu'il est alors possible de dater. Dans le temps imparti à la mission, nous n'avons pas réussi à repérer, à Mangareva, une espèce qui présente à la fois des cernes de croissance exploitables et qui soit antérieure aux années 50.

G2 / Concentration du carbone 14 dans la troposphère et les cheveux et le sang humain en Scandinavie pendant les années soixante.



Echantillonnage d'une tranche de cocotier

A défaut, nous avons décidé, à titre exploratoire, de procéder à une analyse sur une section du tronc d'un cocotier. L'arbre a été choisi en accord avec la municipalité de Rikitea, à proximité du hangar. Cet arbre de 14 mètres de hauteur avait en effet plus de 70 ans et devait être abattu. Il l'a été à notre demande, le 7 octobre 2005, par les services municipaux (cf. [photographies N°T3-33 ci-dessous et T3-34 et 38 pages suivantes](#)). Le diamètre de la section, coupée à 78 cm au dessus du niveau des racines, était de 36 centimètres (hors écorce).



T3 / N°33 : abattage d'un cocotier à Rikitea (Manga reva) / CRIIRAD, le 7 octobre 2005.

Dosage du tritium (OBT) et du carbone 14

La section de tronc a été adressée au laboratoire RCD (Radio Carbon Dating) en Angleterre, avec pour consigne de réaliser 4 échantillonnages à des distances croissantes du cœur.

Les résultats de dosage du carbone 14 et du tritium organiquement lié sont reportés dans le [tableau T4.6](#) ci-dessous.

L'activité du tritium organiquement lié (OBT) est exprimée en Bq/l d'eau de combustion et en becquerel par kilogramme de matière sèche (Bq/kg sec).

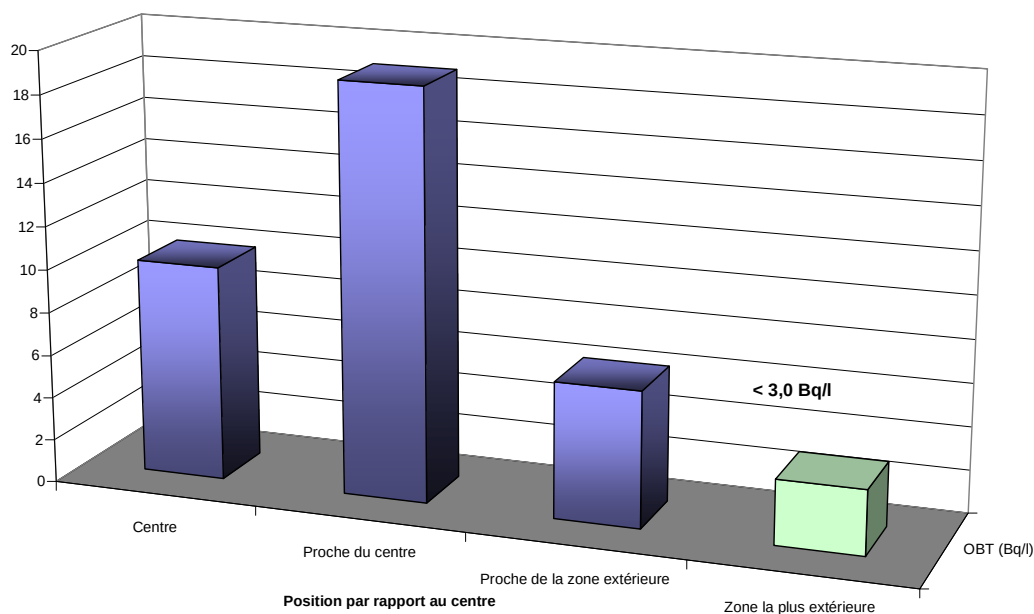
L'activité du carbone 14 est exprimée en becquerels de carbone 14 par kilogramme de carbone stable et en becquerels de carbone 14 par kilogramme de matière sèche (Bq/kg sec).

Tableau T4.6 : activité du tritium et du carbone 14 dans la section du tronc du cocotier abattu à Rikitea le 7 octobre 2005

Position de l'échantillon	Centre du tronc	proche du centre	proche de la zone extérieure	zone la plus extérieure
Activité du tritium				
OBT (Bq/l)	10 ± 0,9	19 ± 1,5	6,3 ± 0,8	< 3,0
OBT(Bq/kg sec)	5,9 ± 0,6	9,7 ± 0,9	3,5 ± 0,5	< 1,6
Activité du carbone 14				
C14 (Bq/kg carbone)	234 ± 2,0	242 ± 2,0	253 ± 2,2	262 ± 2,2
C14 (Bq/kg sec)	92,4 ± 4,7	94,9 ± 4,8	103,4 ± 5,2	111,7 ± 5,7

Les résultats sont reportés sur les [graphiques G3 et G4](#) ci-dessous.

G3 / Activité du tritium organiquement lié (OBT) dans une section de tronc d'un cocotier abattu en octobre 2005 à Rikitea (Mangareva) / activité exprimée en Bq/l d'eau de combustion



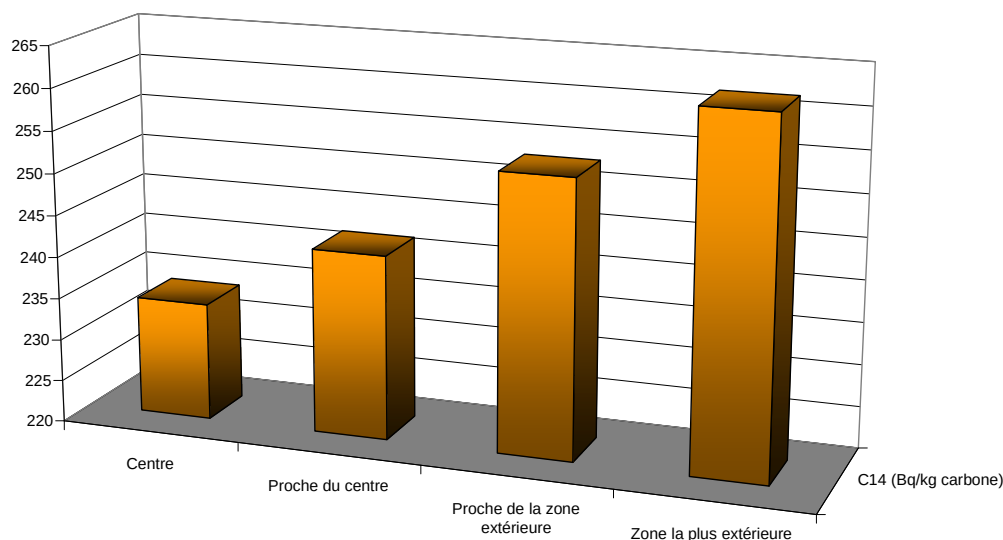
On constate qu'à la date de coupe du cocotier, l'activité du tritium lié est inférieure à la limite de détection ($< 3 \text{ Bq/l}$), alors qu'elle était plus de 6 fois supérieure dans le passé (19 Bq/l dans la section proche du centre de l'arbre). L'écart est encore plus significatif si l'on tient compte du fait que les activités étaient au moins 8 fois supérieures il y a 40 ans (compte tenu de la période physique du tritium soit 12,3 ans).

A l'inverse l'activité du carbone 14 n'a cessé d'augmenter au cours du temps. Ceci s'explique probablement par la longue période du carbone 14 (5 730 ans) qui permet des accumulations.

Pour être interprétés de façon fiable ces résultats nécessiteraient d'être comparés à ceux obtenus, dans les mêmes conditions, sur des arbres d'autres secteurs géographiques du Pacifique, de manière à pouvoir distinguer la contamination liée aux essais nucléaires français locaux, de la composante mondiale.

Ces résultats mettent en tout cas en évidence la nécessité de ne pas négliger les composantes tritium et carbone 14 lorsque l'on tente de dresser un bilan des conséquences environnementales et sanitaires des essais nucléaires en Polynésie.

G4 / Activité du carbone 14 dans une section de tronc d'un cocotier abattu en octobre 2005 à Rikitea (Mangareva) / activité exprimée en Bq/kg de carbone stable



T3 / N°34 et 38 : abattage d'un cocotier à Rikitea (Mangareva) / CRIIRAD, le 7 octobre 2005.

4.8 Eau douce et chaîne alimentaire

4.8.1 Objectifs

Dans la mesure où la mission avait pour objet de vérifier le niveau de contamination résiduelle actuel à Mangareva, il était nécessaire de compléter les analyses de sol et sédiments par des analyses d'eau de boisson et de denrées alimentaires terrestres.

Dans le cadre de cette mission préliminaire il n'était pas possible de réaliser un bilan complet qui aurait nécessité le prélèvement de nombreux types de denrées en de nombreuses stations.

Les résultats présentés ci-après doivent donc être considérés comme un sondage préliminaire. Il convient de rappeler que ces analyses n'ont pas pour objet, et ne permettraient pas, de statuer sur la contamination passée des eaux et denrées alimentaires, mais bien de vérifier leur niveau de contamination résiduelle actuelle.

4.8.2 Analyse des eaux

Echantillons prélevés

S'agissant des eaux de boisson, les habitants de Mangareva consomment les eaux distribuées par la municipalité et pour ceux qui vivent à distance de Rikitea, les eaux de pluies recueillies dans des citernes spécifiques.

Afin d'avoir une vision d'ensemble, l'équipe CRIIRAD a donc échantillonné :

- Des eaux de pluie (EP1) de la citerne de monsieur Léon Paheo sur l'îlot de Taravai (cf. [photographie T2-228 ci-dessous](#)),
- Des eaux de distribution (E2) dans le réservoir des captages de sources de la commune de Rikitea à Mangareva (cf. [photographie T3-93 ci-dessous](#)),
- Des eaux de distribution (E3) dans le réservoir des forages profonds de la commune de Rikitea à Mangareva.

Pour les eaux de distribution de la commune, les prélèvements ont été effectués en présence des techniciens de la municipalité.



T3-93 et T2-228 : prélèvements d'eau de captages à Rikitea et eaux de pluie à Taravai / CRIIRAD, octobre 2005.

Résultats des analyses de base

Conformément à la réglementation en vigueur pour les contrôles radiologiques sur les eaux destinées à la consommation humaine, chaque échantillon a fait l'objet du dosage du tritium (au laboratoire de la CRIIRAD) et de la mesure des indices d'activité alpha et bêta globale (laboratoires Eichrom en Bretagne).

Les résultats des analyses sont reproduits dans le [tableau T4.7 ci-dessous](#)

Les indices d'activité alpha globale sont inférieurs à la limite de détection et à la valeur seuil fixée par la réglementation (< 0,1 Bq/l).

Les indices d'activité bêta globale sont inférieurs à la limite de détection pour les 2 eaux de distribution. Dans les eaux de pluie on mesure 0,13 Bq/l et 0,10 Bq/l après soustraction de la contribution du potassium 40 naturel. Ces résultats sont nettement inférieurs à la valeur seuil recommandée par la réglementation (< 1 Bq/l). Sur le plan scientifique, il serait cependant utile de rechercher la nature du ou des radionucléides émetteurs bêta présents dans l'eau de pluie, sachant qu'il ne s'agit pas du potassium 40 naturel. Les faibles quantités de liquide ramenées en métropole ne permettent pas d'effectuer d'analyses complémentaires.

Pour les 3 échantillons analysés, l'activité du tritium est inférieure aux limites de détection (< 2,5 Bq/l).

Sur le plan radiologique, les 3 types d'eaux analysées satisfont pleinement aux critères de potabilité en vigueur.

Tableau T4.7 : indices d'activité alpha et bêta globale et activité du tritium dans les eaux prélevées par la CRIIRAD aux Gambier en octobre 2005

Description de l'échantillon d'eau

Type échantillon	Eau de pluie	captage sources	forages
Code échantillon	EP1	E2	E3
Lieu de prélèvement	Taravai	Rikitea	Rikitea
Date de prélèvement	6 octobre 2005	7 octobre 2005	7 octobre 2005

Résultats des analyses

Paramètres	Activité ou Concentration +/- incertitude (k=2)	Activité ou Concentration +/- incertitude (k=2)	Activité ou Concentration +/- incertitude (k=2)	Méthode de référence
Indice alpha global (Bq/l)	< 0,03	< 0,04	< 0,04	NF M 60-801
Indice Bêta global (Bq/l)	0,13 ± 0,04	< 0,05	< 0,07	NF M 60-800
Potassium (mg/l)	1,06 ± 0,04	0,60 ± 0,07	1,11 ± 0,04	NF T 90-019
Potassium 40 (Bq/l)	0,029 ± 0,001	0,017 ± 0,002	0,031 ± 0,001	
Indice Bêta résiduel (Bq/l) ⁽²⁾	0,10 ± 0,04	< 0,05	< 0,07	
Tritium (Bq/l) ⁽³⁾	< 2,5	< 2,5	< 2,5	NF M 60-801-1

(1) Evaporation des prises d'essai à 65 °C (+/-3°C)

(2) Différence entre l'indice d'activité bêta global et l'activité du potassium 40 (1 gramme de potassium = 27,6 Bq de K40)

(3) Comptage T 248 du 24 au 31 octobre 2005, flacons UG10-10, eau brute non distillée

Analyses complémentaires sur eaux de captages

Nous avons décidé de ramener suffisamment de liquide pour pouvoir obtenir des mesures complémentaires sur les isotopes émetteurs alpha de l'uranium et du plutonium et sur le strontium 90 et le carbone 14.

Pour des raisons de poids à l'embarquement, il n'était pas possible de prévoir ces mesures complémentaires pour les trois échantillons.

Nous avons choisi au départ de privilégier les eaux des captages compte tenu de leur origine montagneuse et de leur importance locale.

A ce propos, les documents officiels publiés par la DIRCEN montrent que les eaux de captages étaient contaminées aux Gambier après certaines retombées (cf. paragraphe 7).

Ces mesures complémentaires, effectuées par le laboratoire Eichrom, sont reportées dans le [tableau T4.8](#) ci-dessous.

Les activités du strontium 90, du carbone 14, et des isotopes émetteurs alpha de l'uranium et du plutonium sont inférieures aux limites de détection.

Tableau T4.8 : activité du strontium 90, du carbone 14 et des isotopes émetteurs alpha de l'uranium et du plutonium dans les eaux de captages prélevées par la CRIIRAD à Mangareva en octobre 2005

Description de l'échantillon d'eau

Type échantillon	captage sources
Code échantillon	E2
Lieu de prélèvement	Rikitea
Date de prélèvement	7 octobre 2005

Résultats des analyses

Paramètres	Activité (limite de détection)	Méthode de référence
Uranium 234 (Bq/l)	< 0,001	NF M 60-805-5
Uranium 235 (Bq/l)	< 0,002	NF M 60-805-5
Uranium 238 (Bq/l)	< 0,001	NF M 60-805-5
Plutonium 238 (Bq/l)	< 0,002	NF M 60-804-3
Plutonium 239-240 (Bq/l)	< 0,002	NF M 60-804-3
Strontium 90 (Bq/l)	< 0,048	NF M 60-806-3
Carbone 14 (Bq/l)	< 6,7	NF M 60-802-2

Note : analyses réalisées par le laboratoire Eichrom le 6 décembre 2005

4.8.3 Analyse de denrées d'origine végétale

En ce qui concerne les denrées alimentaires, nous avons retenu la noix de coco (car elle constitue une denrée traditionnelle de base dans les îles) et 2 légumes racines, le tarua et le manioc. Il s'agissait de vérifier l'absence de contamination par transfert racinaire.

Il convient de noter que dans la mesure où les analyses de sols et sédiments et eaux commentées plus haut n'ont pas révélé de contamination résiduelle significative, les végétaux ne devraient pas davantage présenter actuellement de contamination importante.

Les noix de coco de Taravai ont été fournies par monsieur Léon Paheo qui les a débarrassées et a fourni, en présence de l'équipe CRIIRAD, le lait de coco et la pulpe de coco (cf. [photographie N°T2-233 ci-dessous](#)).

Compte tenu de la rapidité de la mission à Tureia seule l'eau de coco a pu être échantillonnée.

Les racines de tarua ont été échantillonnées dans la tarodière de Gatavake (Mangareva) en présence de monsieur Papa Daniel Teakarotu et monsieur Daniel Devaux (cf. [photographie N°T3-176 pages suivantes](#)). Les analyses ont été effectuées sur les racines. Celles-ci ne sont pas consommées mais ont été choisies, pour ce dépistage, compte tenu de leur temps de résidence plus important dans le sol.

Le manioc (âge approximatif 1 an) a été échantillonné en présence de monsieur Jacob Puputauki, dans son jardin, à Taku, à une dizaine de mètres au nord de l'église Saint-Joseph (cf. [photographie T3-169 pages suivantes](#)).



T2 / N°233 : prélèvement d'eau et pulpe de coco à Taravai. CRIIRAD, le 6 octobre 2005.

Présentation des résultats d'analyse

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées sur les denrées alimentaires de Mangareva, par le laboratoire de la CRIIRAD, sont reportés dans le [tableau T4.9](#) ci-après.

Les principaux résultats d'analyse par spectrométrie gamma sont reportés dans le [tableau T4-10](#) ci-dessous, avec les résultats des dosages complémentaires de tritium organiquement lié et carbone 14 effectués par le laboratoire RCD.

Note : pour comparaison ces tableaux comportent également les résultats des mesures effectuées sur les eaux de coco prélevées à Tureia.

Tableau T4.10 : activité du césium 137, du tritium et du carbone 14 dans l'eau de coco (Taravai et Tureia), le manioc et les racines de tarua (Mangareva)

Nature échantillon	Eau de coco	Eau de coco	Manioc	Racines Tarua
Lieu	Taravai	Tureia	Taku	Gatavake

Activité du césium 137

Césium 137 (Bq/kg frais)	< 0,1	0,60 ± 0,15	0,30 ± 0,13	< 0,1
--------------------------	-------	-------------	-------------	-------

Activité du tritium

OBT (Bq/l)	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0
OBT(Bq/kg sec)	< 1,6	< 1,6	< 1,7	< 1,4

Activité du carbone 14

C14 (Bq/kg carbone)	242 ± 2,2	238 ± 3,8	241 ± 2,3	244 ± 2,1
C14 (Bq/kg sec)	67,3 ± 3,4	59,4 ± 3,1	95,8 ± 4,9	74,1 ± 3,8

Radionucléides artificiels émetteurs gamma

Un seul radionucléide artificiel émetteur gamma est détecté dans certains échantillons, le **césium 137**.

Le césium 137 est détecté à l'état de traces dans l'échantillon de manioc prélevé à Taku (0,3 Bq/kg frais). Il n'est pas détecté dans l'eau de coco de l'échantillon de Taravai (< 0,1 Bq/kg), alors qu'il est présent dans l'eau de coco de Tureia (0,6 Bq/kg).

L'activité de tous les autres radionucléides artificiels émetteurs gamma est inférieure aux limites de détection. C'est le cas de l'américium 241 (descendant du plutonium 241, < 0,1 Bq/kg), et du seul isotope émetteur gamma à longue période de l'iode, l'iode 129 (période 15,7 millions d'années) : < 0,1 à < 0,2 Bq/kg.

Tritium et carbone 14

L'activité du tritium organiquement lié est inférieure aux limites de détection dans les 4 échantillons analysés (< 3 Bq/l d'eau de combustion).

L'activité du carbone 14 est comparable dans les 2 échantillons d'eau de coco (238 à 242 Bq/kg carbone). Elle est du même ordre de grandeur dans le manioc (241 Bq/kg carbone) et le tarua (244 Bq/kg carbone).

Tableau T4-9 : / échantillons d'eau et pulpe de coco, manioc et racines de tarua prélevés aux Gambier et eau de coco de Tureia / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A47	181005A48	181005A49	181005A50	181005A51
Code prélèvement	LC1	PC1	LC2	MAN1	TARUA2
Nature de l'échantillon	Eau de coco	Pulpe de coco	Eau de coco	Manioc	Tarua (racine)
Lieu de prélèvement	Taravai	Taravai	Tureia	Taku	Gatavake
Lieu de prélèvement (bis)	Gambier	Gambier		Mangareva	Mangareva
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	06/10/2005	06/10/2005	10/10/2005	08/10/2005	08/10/2005
N° analyse	21931	21942	22003	21950	21 938
Géométrie	C MAR	C MAR	B MAR	C MAR	C MAR
Etat Frais / Sec	f	f	f	f	f
Masse analysée (g)	551,79	562,20	534,47	645,14	519,71
Temps de comptage (s)	86 140	86 570	167 565	166 810	84 514
Date de la mesure	18/10/2005	26/10/2005	23/11/2005	31/10/2005	24/10/2005

Naturels	Energie (KeV)
----------	---------------

Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme frais

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	< 4,2	< 3,5	< 1,2	< 2,8	< 6,4
Ra226**	186,1	< 0,4	< 1,2	< 0,3	< 0,3	< 0,7
Pb214	351,9	< 0,3	< 0,8	< 0,4	< 0,3	< 0,4
Bi214	609,3	< 0,5	< 0,9	< 0,3	< 0,4	< 0,7
Pb210*	46,5	< 4,7	< 2,8	< 1,5	< 1,7	< 2,5

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	< 1,8	< 1,7	< 2,9	< 1,3	< 1,9
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	< 1,2	< 1,0	< 0,7	< 1,0	< 1,9
Pb212	238,6	< 0,4	< 0,3	< 0,2	< 0,2	< 0,3
Tl208	583,0	< 0,3	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2

K40	1 460,8	73 ± 12	137 ± 19	49 ± 10	127 ± 16	60 ± 11
Be7	477,6	< 0,7	< 0,7	< 0,5	< 0,4	< 0,7

Artificiels	Energie (KeV)
-------------	---------------

Cs137	661,6	< 0,1	< 0,1	0,60 ± 0,15	0,30 ± 0,13	< 0,1
Cs134	604,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Co58	810,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Co60	1 332,5	< 0,1	< 0,1	< 0,0	< 0,1	< 0,1
Mn54	834,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb125	427,9	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,3
I131	364,5	< 0,3	< 0,5	< 2,6	< 0,4	< 0,4
Ce144	133,5	< 0,5	< 0,5	< 0,4	< 0,3	< 0,5
Ag110m	657,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Am241*	59,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
I129*	29,6	< 0,2	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,2
Ru106	621,9	< 0,9	< 0,8	< 0,5	< 0,6	< 1,0

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

Radionucléides naturels émetteurs gamma

Le potassium 40 est détecté dans tous les échantillons à des niveaux de l'ordre de 50 à 137 Bq/kg. Ces résultats sont classiques dans les végétaux.

Le potassium étant un composant important des végétaux, son isotope radioactif naturel (potassium 40, émetteur bêta gamma de période physique 1,28 milliards d'années) est nécessairement très présent dans les végétaux. A titre indicatif, les activités typiques dans les carottes, pommes de terre, bananes dépassent couramment 100 Bq/kg frais. Les valeurs obtenues dans les denrées des Gambier et Tureia sont donc classiques.

Aucun radionucléide naturel émetteur gamma des chaînes de l'uranium 238, uranium 235 et thorium 232 ne présente une activité supérieure aux limites de détection.



T3 / N°169 : prélèvement de manioc à Taku. CRIIRAD, le 8 octobre 2005.



T3 / N°176 : prélèvement de racines de tarua à Gata vake. CRIIRAD, le 8 octobre 2005.

5 Résultats concernant l'atoll de Tureia

5.1 Description de l'atoll

L'atoll de Tureia est situé à 115 km de Moruroa, 454 km de Mangareva et 1 190 km de Papeete.

Il s'agit d'un petit atoll. Son lagon fait 13 km pour sa plus grande diagonale, et 7,4 km pour sa petite diagonale. L'atoll ne possède pas de passe. Les terres émergées sont réparties sur un grand îlot de 22,5 km de long et 250 m de large en moyenne et vingt-sept petits îlots. Tureia compte environ 300 habitants en 2005.

La station météorologique a été démantelée en mars 1996.

5.2 Objectifs

Seule une courte escale (moins de 4 heures, dont environ 3 heures consacrées aux mesures radiométriques) a été effectuée à Tureia (village de Hakamaru), le lundi 10 octobre 2005, grâce à l'avion ATR présidentiel (Photographie N°T5-44 ci-dessous).

Les habitants ont activement participé aux contrôles ([Photographie N°T5-84 ci-après](#)).

Des contrôles radiométriques au scintillomètre DG5 ont été effectués par balayage aléatoire au contact du sol sur quelques sites. Les résultats sont commentés ci-dessous.

5.3 Les 2 blockhaus

Il subsiste sur l'atoll de Tureia, au sud du village, 2 anciens blockhaus de même type que celui de Taku (Mangareva). D'après les habitants qui nous ont accueillis, les blockhaus auraient été construits en 1967. L'un servait d'abri aux militaires (situé à l'est, noté BM), l'autre aux civils (BP).

Les coordonnées GPS de l'emplacement des blockhaus figurent dans le [tableau T5-1 ci-dessous](#).

Tableau T5-1 : Coordonnées GPS des blockhaus de Tureia

B / Relevés effectués à Tureia

N°	Lieu (code échantillon)	Distance au point N°1	Latitude	Longitude
29	Tureia, blockhaus (sol TU1)	(454 km de Mangareva)	S 20,77444	W 138,56792

5.3.1 Intérieur des blockhaus

Le niveau de rayonnement gamma à l'intérieur des 2 blockhaus, sur le dallage, est de l'ordre de 30 c/s (comme à l'intérieur de celui de Taku).

Contrairement au cas de Taku, il subsiste dans les 2 blockhaus de Tureia des appareils et matériaux divers (céramiques de sanitaires, appareils électriques, etc.). Les contrôles rapides effectués sur ces appareils n'ont révélé aucune anomalie.

Des isolants pendent du plafond. D'après la population, ces isolants contiendraient de l'amiante. ([Photographies N°T5-107 et 108 ci-après](#)).

D'une façon générale ces blockhaus sont dans un état de délabrement avancé (rouille, déchets). Des concrétions évoquant des stalactites pendent du plafond à des endroits où l'on observe des suintements. Les habitants nous ont indiqué que cette absence d'étanchéité du plafond avait été constatée dès la construction.



T5/ N°44 : Embarquement dans l'avion ATR de la prés idence pour une courte mission exploratoire sur l'atoll de Tureia. CRIIRAD, le 10 octobre 2005.



T5 / N°84 : La population de l'atoll de Tureia utilise tous les moyens de transport disponibles pour accueillir la mission à l'aéroport. CRIIRAD, le 10 octobre 2005.



T5 / N°107 et 108 : Intérieur délabré de l'un des blockhaus destinés à protéger la population contre l'irradiation externe liée aux explosions atmosphériques à Tureia. CRIIRAD, le 10 octobre 2005.

5.3.2 Pourtour immédiat des blockhaus

Sur le pourtour immédiat des blockhaus, contrôlés sur les 4 côtés, on mesure de 10 à 20 c/s sauf, dans le cas du blockhaus BP, où, sur plusieurs mètres le long de la façade sud, on mesure de 50 à 75 c/s dans une légère dépression au sol, parallèle à la façade. Sur les 3 autres faces le niveau est de 10 à 20 c/s.

Cette dépression est remplie d'un matériau sablonneux (gravier) qui a la texture de la soupe de corail.

Les mesures effectuées perpendiculairement à cette dépression permettent de constater que l'on retrouve, à quelques mètres de distance, un niveau de 20 c/s assez classique sur ces sols coralliens.

Un échantillonnage de gravier a été effectué sur environ 20 cm de profondeur dans cette dépression, au droit d'un des points les plus actifs (80 c/s au contact soit 4 fois le bruit de fond naturel ambiant, code **TU 1**).

Analyse du gravier TU1

Les résultats détaillés de l'analyse par spectrométrie gamma effectuée au laboratoire de la CRIIRAD sur le gravier TU1 sont reportés dans le [tableau T5-2 ci-après](#).

Cette analyse permet d'établir que l'excès de rayonnement gamma du gravier TU1 (excès par rapport au niveau naturel local) est lié à des radionucléides naturels de la chaîne de l'uranium 238 (22 à 35 Bq/kg), de la chaîne du thorium 232 (23 à 26 Bq/kg) et surtout, à une teneur élevée en **potassium 40** (1 077 Bq/kg).

Alors que l'activité des descendants de l'uranium 238 et du thorium 232 est inférieure à la moyenne de l'écorce terrestre (40 Bq/kg), celle du potassium 40 est nettement supérieure (moyenne de l'écorce terrestre 300 à 600 Bq/kg).

Ce résultat est étonnant car l'activité du potassium 40 dans les sols de Mangareva était inférieure à 20 Bq/kg dans les terres grasses de Taku et Taravai et encore plus faible dans le sol sablonneux (de type corallien) devant la chapelle Sainte-Anne à Rikitea. Les analyses de soupe de corail de Mangareva (potassium 40 < 8 Bq/kg) et de corail de Hao (potassium 40 < 28 Bq/kg) montrent également que les teneurs en potassium 40 dans les sols coralliens sont très faibles.

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'a été détecté dans ce gravier (césium 137 < 0,2 Bq/kg, américium 241 < 0,4 Bq/kg). L'activité de l'uranium 235 est également inférieure à la limite de détection (< 2,8 Bq/kg sec).

L'origine de l'excès de potassium 40 reste inconnue, mais rien ne permet de la lier, a priori, à un impact direct des essais nucléaires. L'avis d'experts militaires serait utile pour interpréter ce résultat.

5.4 L'ancien campement militaire

Les mesures radiométriques rapides effectuées aux abords des structures bétons (anciens supports de radar) au sud-est des blockhaus n'ont révélé aucune anomalie (10 à 20 c/s).

Aucune anomalie n'a été détectée sur l'ancienne piste d'atterrissage pour hélicoptère (15 à 30 c/s sur le ciment et les joints en bitume, cf. [photographie N°T5-113 ci-après](#)).

Les contrôles effectués à proximité du village, dans une cellule habitable transportable ayant appartenu aux militaires et récupérée par la population, n'ont révélé aucune anomalie (20 à 25 c/s sauf sur les carrelages : 40 à 45 c/s, cf. [photographie N°T5-122 ci-après](#)). Dans une seconde cellule habitée, on mesure sous la trappe de sol 13 c/s et contre le siphon de douche 14 c/s.

Les sols coralliens sont systématiquement mesurés à 10 à 20 c/s.



T5 / N°92 et 95 : situation entre les deux blockhaus à Tureia. CRIIRAD, le 10 octobre 2005.



T5 / N°113 et 122 : contrôles radiométriques sur l'ancienne piste-hélicoptère et les préfabriqués à Tureia.



T5 / N°135 et 152 : des habitants de Tureia remettent à la CRIIRAD le sédiment TU2 prélevé dans l'ancienne citerne CEA

Tableau T5-2 : / échantillons TU1 et TU2 prélevés à Tureia / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A20	181005A21
Code prélèvement	TU1	TU2
Nature de l'échantillon	Gravier	Sédiment
Description échantillon		Fond réservoir pluviale
Profondeur	0 à 20 cm	sous + 1 m d'eau
Lieu de prélèvement	Pied Blockaus	Ancien site CEA
Lieu de prélèvement (bis)	Tureia	Tureia
Flux gamma DG5 (c/s)	80	NM
Préleveur	CRIIRAD	Habitants
Date d'échantillonnage	10/10/2005	10/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C / tamisé 5 mm	Séchage étuve 90°C / tamisé 2 mm
N°analyse	21995	22044
Géométrie	C MAR	B P
Etat Frais / Sec	s	s
Masse analysée (g)	827,16	36,51
Temps de comptage (s)	29 630	194 837
TMS	98,60%	27,00%
Date de la mesure	21/11/2005	09/12/2005

Naturels	Energie (KeV)	Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec			
Chaîne de l'uranium 238					
Th234*	63,3	35,5	±	10,4	< 42,3
Ra226**	186,1	24,6	±	3,5	15,4 ± 5,3
Pb214	351,9	25,6	±	3,6	14,6 ± 5,3
Bi214	609,3	23,6	±	3,4	16,1 ± 5,3
Pb210*	46,5	21,9	±	8,1	240 ± 40
Chaîne de l'uranium 235					
U235	163,4		<	2,8	< 8,6
Chaîne du thorium 232					
Ac228	911,2	23,3	±	4,1	< 22,8
Pb212	238,6	26,3	±	3,6	< 11,4
Tl208	583,0	8,8	±	1,4	< 4,4
K40	1 460,8	1 077	±	124	< 236
Be7	477,6		<	1,5	< 5,0

Artificiels	Energie (KeV)				
Cs137	661,6	< 0,2	53,7	± 7,3	
Cs134	604,7	< 0,2	< 0,6		
Co58	810,8	< 0,3	< 1,1		
Co60	1 332,5	< 0,2	< 0,6		
Mn54	834,8	< 0,2	< 0,7		
Sb125	427,9	< 0,5	< 1,9		
I131	364,5	< 6,4	< 113,8		
Ce144	133,5	< 1,3	< 4,0		
Ag110m	657,7	< 0,2	< 0,7		
Am241*	59,5	< 0,4	11,0	± 2,5	
I129*	29,6	< 0,4	< 0,8		
Ru106	621,9	< 1,8	< 6,4		

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

5.5 L'ancien site CEA

Le site CEA est situé au nord du village. Nous n'avons pu y faire qu'une visite éclair d'une quinzaine de minutes.

Il subsiste les dalles de fondation de 4 bâtiments à proximité des fondations de ce qui nous est décrit par les habitants comme la base d'un ancien pylône de vision qui permettait d'observer, en direction du lagon, les tirs nucléaires.

Mesures radiamétriques

Les mesures radiamétriques par balayage rapide effectuées sur et autour des fondations des 4 bâtiments ainsi que dans un regard et un passage de câble n'ont révélé aucune anomalie (15 à 30 c/s).

Un seul bâtiment présente encore ses 4 murs, mais pas de toiture. Situé entre 2 autres anciens bâtiments (rasés). Il nous est présenté comme une ancienne citerne de récupération des eaux pluviales pour l'alimentation des militaires. La citerne, désormais à ciel ouvert, est pleine d'eau (plus d'un mètre de fond) (cf. [photographie N°T5-135 pages précédentes](#)).

Il serait très intéressant d'y prélever du sédiment de fond mais nous sommes appelés pour assister rapidement à une réunion collation avant le décollage. Un habitant nous propose de récupérer du sédiment (code TU2) qu'il nous remet in extremis quelques minutes avant le décollage (cf. [photographie N°T5-152 pages précédentes](#)).

Analyse du sédiment TU2

Les résultats détaillés de l'analyse par spectrométrie gamma effectuée au laboratoire de la CRIIRAD sur le sédiment TU2 sont reportés dans le [tableau T5-2 ci-dessus](#).

Les faibles quantités disponibles (48 grammes secs) ne permettent pas de procéder à des analyses de grande précision.

L'activité des descendants de l'uranium 238 est normale (15 Bq/kg sec), à l'exception d'un excès de **plomb 210** (239 Bq/kg sec). Cet excès confirme que ce sédiment est représentatif de dépôts atmosphériques (apport de plomb 210 naturel par désintégration du radon 222 de l'air ambiant). L'activité des descendants du thorium 232 est faible (< 23 Bq/kg).

L'uranium 235 n'est pas détecté (< 8,6 Bq/kg sec).

Deux radionucléides artificiels émetteurs gamma sont détectés, le **césium 137** (54 Bq/kg sec) et l'**américium 241** (11 Bq/kg sec).

Ces résultats témoignent d'une contamination. La présence de l'américium 241 démontre la présence de plutonium 241 et il est probable que les autres isotopes du plutonium sont présents.

Il est difficile d'interpréter plus avant ces résultats dans la mesure où l'on ne sait pas depuis quand la citerne a été curée, ni si elle était opérationnelle durant les retombées. On peut espérer en effet que lors d'intenses retombées les toitures étaient lavées et les eaux de lavages détournées de la citerne (ceci serait à vérifier). En tous les cas, il serait intéressant de vider la citerne et d'effectuer des prélèvements dans les différentes couches de boues de fond.

La faible quantité de boue TU2 disponible risque de limiter la possibilité de mesures complémentaires de plutonium et strontium 90.

5.6 Analyse d'eau de coco

Un échantillon d'eau de coco (LC 2) a été ramené au laboratoire pour analyse.

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD sont reportés dans le [tableau T4-9](#) au paragraphe [4.8.3](#) consacré aux Gambier.

L'activité des radionucléides naturels émetteurs gamma est inférieure aux limites de détection, à l'exception du potassium 40 naturel (49 Bq/kg frais). L'activité mesurée est classique.

Un seul radionucléide artificiel émetteur gamma est détecté, le **césium 137** (0,60 Bq/kg). Il n'était pas détecté dans l'eau de coco prélevée aux Gambier sur l'îlot de Taravai (< 0,1 Bq/kg).

L'activité du tritium organiquement lié OBT est inférieure aux limites de détection (< 3 Bq/l d'eau de combustion).

L'activité du carbone 14 est normale (238 Bq/kg de carbone) et comparable (aux marges d'incertitude près) à celle mesurée dans l'eau de coco des Gambier (242 Bq/kg de carbone).

Note : les dosages du strontium 90 et des isotopes émetteurs alpha du plutonium dans l'eau de coco de Tureia sont en cours à la date de rédaction. Ils feront l'objet d'une présentation dans une note séparée.

Compte tenu de l'importance de l'exploitation du cocotier et du coprah à Tureia, et dans la mesure où le césium 137 est détecté dans l'échantillon d'eau de coco prélevé, une campagne de mesure spécifique plus approfondie sur les noix de coco (eau de coco, lait de coco, coprah) est recommandée.

Tableau T5-3 : principaux résultats de spectrométrie gamma et activités du tritium et du carbone 14 dans l'eau de coco (Taravai et Tureia).

Nature échantillon	Eau de coco	
Lieu	Taravai	Tureia
Activité de radionucléides émetteurs gamma		
Césium 137 (Bq/kg frais)	< 0,1	0,60 ± 0,15
Américium 241 (Bq/kg frais)	< 0,1	< 0,1
Iode 129 (Bq/kg frais)	< 0,2	< 0,1
Uranium 235 (Bq/kg frais)	< 1,8	< 2,9
Potassium 40 (Bq/kg frais)	73 ± 12	49 ± 10
Activité du tritium		
OBT (Bq/l)	< 3,0	< 3,0
OBT(Bq/kg sec)	< 1,6	< 1,6
Activité du carbone 14		
C14 (Bq/kg carbone)	242 ± 2,2	238 ± 3,8
C14 (Bq/kg sec)	67,3 ± 3,4	59,4 ± 3,1

6 Résultats concernant l'atoll de Hao

6.1 Description de l'atoll

Descriptif physique de l'atoll de Hao

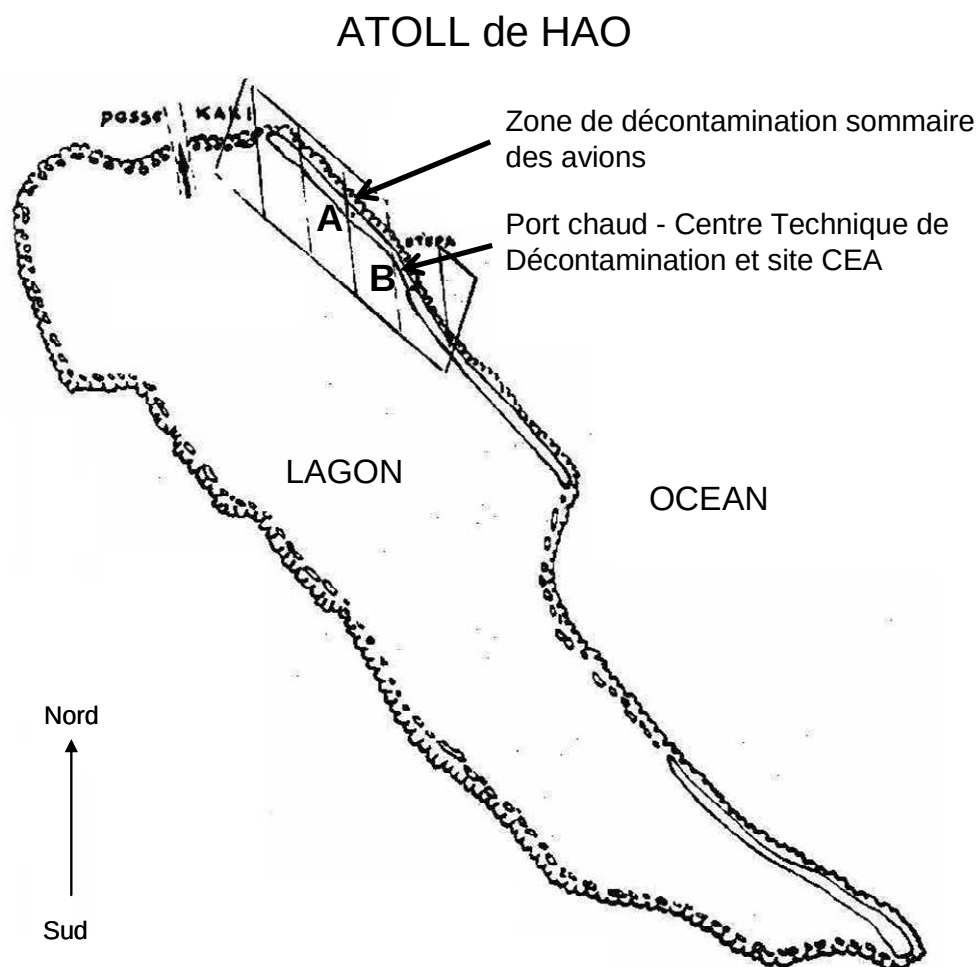
Grand atoll des Tuamotu du Centre, Hao est situé à 920 km à l'est de Tahiti et **460 km au nord-ouest de Moruroa**. Cet atoll habité compte aujourd'hui environ 1 500 habitants.

Son lagon est un des plus grands de Polynésie : il s'allonge du nord-ouest au sud-est sur 55 km, mais ne s'ouvre que par une seule passe (la passe de Kaki) parcourue de courants violents.

L'atoll se présente sous la forme d'une couronne de 130 km de long pour une largeur de bande corallienne variant de 10 à 140 mètres. Le point le plus élevé de l'atoll culmine à 3 mètres au dessus du niveau de la mer.

Le village d'Otepa est situé sur l'îlot Nord à 3,5 km de l'aérodrome. Sur la [carte schématique C3](#) ci-dessous, la piste d'atterrissage se termine au point A et le village d'Otepa est situé entre les points A et B.

Carte C3 : localisation des principales installations du CEP à HAO



Échelle appr.1 / 250 000

Hao et le CEP

Pour une description détaillée du rôle de HAO et des installations qui s'y trouvaient nous renvoyons le lecteur aux études publiées par Bruno Barrillot¹⁷.

Hao a été la base avancée ou « base arrière » du Centre d'Expérimentation du Pacifique (CEP) pour les essais nucléaires réalisés à Moruroa et Fangatau.

De 1963 à 1965, d'importantes infrastructures ont été mises en place : une piste d'aviation de 3 420 m protégée par une digue, une route de 15 km, des logements pour les personnels civils et militaires du CEP (environ 2 500 personnes), des salles de réunion, des appareils pour l'approvisionnement en eau douce, de nombreux ateliers et des laboratoires du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA).

Parmi les fonctions attribuées aux installations de Hao on retiendra :

- Servir de point de relais pour les avions qui amenaient certains matériels sensibles (appareils constitutifs de l'engin nucléaire et matières fissiles destinés à l'assemblage de la bombe),
- Prendre en charge des échantillons radioactifs prélevés à l'issue des essais nucléaires. Par exemple, les avions Vautour acheminés à Hao en avril 1966. Ces avions avaient pour mission d'effectuer des prélèvements de poussières radioactives (par tuyères ou en lançant des missiles préleveurs récupérés ensuite par hélicoptère). Ces échantillons de gaz et de poussières radioactives étaient ensuite analysés dans le laboratoire « Radiochimie et Dépôt d'Energie » situé sur le site CEA à l'écart du village d'Otepa.
- Héberger des installations de décontamination des avions, navires, vêtements, matériels divers.

La dissolution de la DIRCEN a été prononcée en juillet 1998.

6.2 Objectifs et choix des sites contrôlés

Les contrôles et échantillonnages effectués par la CRIIRAD sur l'atoll de Hao ne portaient pas sur l'étude des retombées des essais atmosphériques.

Même s'il est bien évident qu'il a nécessairement subi des retombées (voir chapitre 7), le volet « étude de la radioactivité résiduelle actuelle liée aux retombées atmosphériques » ayant été consacré à Mangareva, la priorité pour HAO était de vérifier s'il pouvait subsister une contamination importante **à terre, au niveau des installations militaires ou du CEA** du fait de leurs activités en tant que base arrière du CEP (décontamination de navires ou avions, analyses d'échantillons très actifs, assemblage final de la bombe, laverie des tenues de travail contaminées, etc...).

En effet, sur d'autres anciens sites de métropole utilisés par le CEA (civil ou militaire) ou les militaires, le laboratoire de la CRIIRAD a pu, ces dernières années, mettre en évidence des contaminations résiduelles significatives (site militaire de Vaujours et ancien site du fort d'Aubervilliers, anciennes mines d'uranium du Limousin ou de Vendée exploitées à l'époque par le CEA, dépositaire d'Itteville en région parisienne, etc...).

Environ 2,5 jours de travail effectif ont été consacrés à la réalisation de contrôles radiométriques (mesure du rayonnement gamma au moyen du scintillomètre DG5) sur l'atoll de Hao.

Compte tenu de l'extension spatiale des anciennes installations (elles s'étendent sur plusieurs kilomètres) et de la difficulté d'en retrouver les emplacements exacts, il n'a été possible de réaliser des contrôles radiométriques en surface que sur deux secteurs, et ce de façon très préliminaire.

¹⁷ Bruno Barrillot, Les essais nucléaires français 1960-1996, Etudes du CDRPC, Février 1996, page 86.

Bruno Barrillot / « La base avancée de Hao (aide mémoire) » / Commission d'Enquête sur les Conséquences des Essais Nucléaires / Assemblée de Polynésie Française / Septembre 2005 (21 pages).

Ces secteurs ont été choisis en fonction de leur utilisation passée. Il s'agit principalement :

- Du **secteur CEA** à 2-3 kilomètres au sud-est du village d'Otepa. Secteur B sur la [carte C3](#) ci-dessus. Dans ce cas, quelques sondages ont pu être effectués au moyen d'un tractopelle, mis à disposition par les services municipaux et sous la responsabilité de monsieur Max Tapotofarerani, adjoint au Maire.
- Du secteur de l'ancienne zone de **décontamination des avions**, à environ 3 kilomètres au nord-ouest du village d'Otepa (secteur A sur la [carte C3](#) ci-dessus).

Dans la demi-heure qui a précédé le décollage pour Papeete, quelques contrôles radiométriques ont été effectués en outre au niveau du **transit maritime** situé à proximité de l'aéroport au sud de la passe.

Note : à titre purement exploratoire, et compte tenu des inquiétudes manifestées par la population à propos de la situation radiologique du lagon (au cours de la réunion publique du 12 octobre 2005 à Otepa), un échantillonnage d'algues et coraux a été effectué dans le **lagon** au droit de la pension Flores.

Les coordonnées GPS des sites figurent dans le [tableau T6-1 ci-dessous](#).

Tableau T6-1 : Coordonnées GPS des principales stations de mesure ou d'échantillonnage à HAO.

N°	Lieu (code échantillon)	Distance au point N°30	Latitude	Longitude
30	Eglise centre village Otepa	0	S 18,10720	W 140,90658
31	Quai militaire SMSR près site décontamination bateaux	2 350 m	S 18,12677	W 140,89798
32	Dalle ancienne laverie	2 380 m	S 18,12678	W 140,89726
33	Entrée piste atterrissage hélicoptère	2 520 m	S 18,12754	W 140,89589
34	Intersection de l'ancienne entrée principale et de la nouvelle route		S 18,12883	W 140,89502
35	Ancienne entrée du site CEA, stop		S 18,12840	W 140,89430
36	Ancien bâtiment radiochimie (eau saumâtre E4)	(à 290 m de N°31)	S 18,12878	W 140,89619
37	Ancienne fosse (comblée) décantation eaux lavage (échantillon BAT1 à proximité)	(à 400 m de N°35)	S 18,12621	W 140,89732
38	Ancien atelier, angle nord-est	2 660 m (170 m de N°35)	S 18,12895	W 140,89583
39	Limite terrain décontamination avion, côté terrain foot, début ciment lisse	3 220 m	S 18,08803	W 140,92952
40	Limite terrain décontamination avion, côté terrain foot, début ciment rugueux	(à 100 m de N°39)	S 18,08839	W 140,92865
41	Angle sud-ouest terrain décontamination avions	(à 150 m de N°39)	S 18,08852	W 140,92822
42	Plot côté océan, sud terrain décontamination avions	(à 250 m de N°39)	S 18,08840	W 140,92716
43	Zone de déversement centrale à béton, côté océan (échantillon MV1)	(à 410 m de N°39)	S 18,08906	W 140,92577
44	bord océan au droit zone décontamination avions (CA 3)	(à 110 m de N°39)	S 18,08705	W 140,92956
45	Angle nord-est zone décontamination avions (remblai RB2)		S 18,08636	W 140,93203
46	Fouilles au tracto pelle vannes ancien atelier		S 18,12905	W 140,89572
47	gravats à l'emplacement blockhaus B3	(à 130 m de N°35)	S 18,12870	W 140,89544
48	Angle nord est ancien dallage laverie		S 18,12628	W 140,89721
49	Angle nord ouest ancien dallage laverie		S 18,12652	W 140,89749
50	Fouilles au tracto pelle regard ancienne laverie		S 18,12637	W 140,89724
51	Fouilles latérales au tractopelle recherche émissaire rejet au lagon au droit ancienne laverie et quai SMSR	(à 90 m de N°48)	S 18,12685	W 140,89787
52	angle nord ouest ancien bâtiment zone décontamination avions (remblais RB1 et SCRB1 à proximité)	(à 50 m de N°39)	S 18,08761	W 140,92972
53	limite zone décontamination avions côté océan	(à 50 m de N°39)	S 18,08761	W 140,92932
54	Pension Flores à Otepa (corail COR1 et algues ALG1 au droit de ce point dans le lagon)	410 m	S 18,11069	W 140,90533

6.3 Contrôles effectués sur l'ancien site CEA

L'analyse documentaire effectuée par monsieur Bruno Barrillot (citée plus haut), les informations collectées par l'association Moruroa et Tatou, et les témoignages recueillis sur place au cours de la mission, nous ont conduits à cibler les contrôles sur certains secteurs précis listés ci-dessous et présentés par ordre croissant d'éloignement du centre du village d'Otepa.

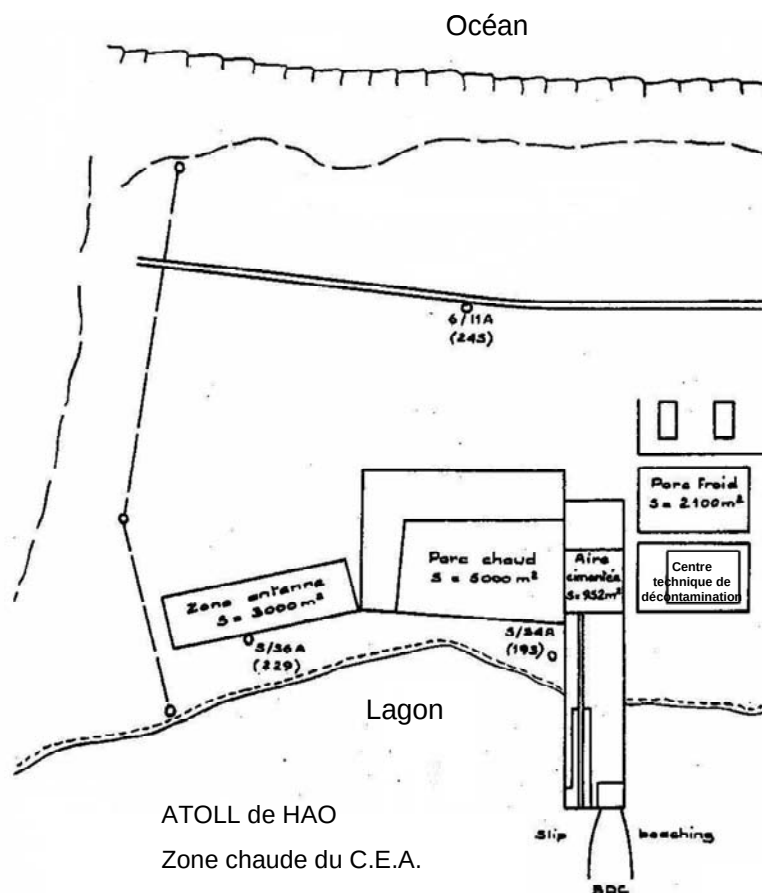
Avant la mission, nous avons pu rencontrer à Papeete, en présence de messieurs John Doom et Bruno Barrillot, un ancien travailleur de Hao (1972-1977), monsieur Raymond Pia, membre de l'association Moruroa et Tatou.

Ce dernier a rédigé de mémoire un croquis de la partie principale de l'ancien site CEA (cf croquis C5 pages suivantes) avec localisation des principaux bâtiments. Il nous a en outre accompagnés à Hao. Son aide a été précieuse pour identifier les emplacements des anciens bâtiments, aujourd'hui tous rasés et sur lesquels pousse un sous-bois de cocotiers, « arbre de fer », et « bois de rose ».

Le site aurait été abandonné à la fin des années soixante dix, après la fin des essais nucléaires atmosphériques (1974). Monsieur Raymond Pia nous a indiqué qu'à son départ, en 1977, les **bâtiments Radiochimie** et **B3** (assemblage de la bombe) étaient encore debout. Selon un témoin rencontré lors de la réunion publique, le B3 était encore en place en 1991. Des légionnaires l'auraient démoli au BRH vers 1998-2000.

Les contrôles radiométriques ont été effectués durant la matinée du mardi 11 octobre 2005 et la matinée et début d'après midi du mercredi 12 octobre 2005.

Carte C4 : localisation de la zone de décontamination des bateaux et du Centre Technique de Décontamination à HAO (source militaire)



6.3.1 Emplacement de la zone de décontamination des bateaux

Selon monsieur Max Tapotofarerani, des navires contaminés en provenance de Moruroa étaient acheminés via le lagon de Hao à une cale sèche, près du quai dit « quai SMSR », situé à environ 2,3 km au sud du village d'Otepa (cf. photographie [N°T6-16 page suivante](#)).

Ce site correspond à celui schématisé sur un plan issu de documents militaires (cf. [croquis C4](#) ci-dessus).

Il ne subsiste que la pente bétonnée en descente vers le lagon et une aire bétonnée plane (cf. photographie [N°T6-10 page suivante](#)).

Le mode de collecte et de rejet des effluents liquides produit par la décontamination n'est pas clairement établi.

Aucun regard ou système de drainage spécifique n'a pu être identifié de visu (cf la question de la fosse ci-dessous).

Les contrôles radiométriques effectués par balayage aléatoire à la surface des sols bétonnés et des abords de la plateforme n'ont révélé aucune anomalie. Ils sont comparables à ceux relevés dans le village d'Otepa (10 à 20 c/s sur sols coralliens, goudrons, ciments).

Par défaut, un prélèvement de béton superficiel (code **BAT1**, photographie [N°T6-131 page suivante](#)) a été effectué au centre de l'aire de décontamination des bateaux, à un endroit fragilisé par la pousse d'un arbuste. L'examen visuel montre qu'il y a plusieurs couches de béton croisé ce qui devait garantir une bonne étanchéité de la surface. Il est très peu probable, compte tenu du lessivage par les pluies depuis plusieurs dizaines d'années que la surface bétonnée ait conservé une contamination.

L'analyse par spectrométrie gamma effectuée au laboratoire de la CRIIRAD (cf tableau [T6-2 ci-après](#)), n'a révélé aucune présence de radionucléides artificiels émetteurs gamma (césium 137 < 1,2 Bq/kg sec, américium 241 < 1,1 Bq/kg sec).

6.3.2 Emplacement du Centre Technique de Décontamination

Au sud est de la zone de décontamination des bateaux, se trouve une vaste plate forme en ciment lisse avec des emplacements bétonnés qui correspondent selon les témoins locaux à l'emplacement des machines à laver utilisées pour les tenues de travail contaminées. Selon monsieur Kavera, cette aire servait aussi à décontaminer des matériels (Photographie [N°T6-120 page suivante](#)).

Cette structure semble correspondre effectivement, d'après le croquis C4 ci-dessus, au Centre Technique de Décontamination. On observe clairement que les surfaces bétons lisses (teinte verte) convergent en pente très douce vers le centre de la structure.

Les contrôles radiométriques effectués par balayage aléatoire sur toute la surface et ses abords, dans plusieurs regards visibles à l'est de la laverie (dont un approfondi au tractopelle, à notre demande au point GPS N°50), n'ont révélé aucune anomalie (10 à 25 c/s).

Un prélèvement de terre superficielle (code **LAV1**, photographie [N°T6-120 page suivante](#)) a été effectué à l'intersection entre la partie basse d'une surface de ciment lisse et un support ciment. Il s'agit probablement d'une terre très récente qui correspond au lessivage des poussières accumulées sur l'aire de la laverie postérieurement à son démantèlement.

L'analyse par spectrométrie gamma effectuée au laboratoire de la CRIIRAD (cf tableau [T6-2 ci-après](#)) confirme qu'il s'agit d'un échantillon représentatif du lessivage de sols soumis aux dépôts atmosphériques. On mesure en effet des niveaux élevés de plomb 210 (380 Bq/kg sec), lié à la désintégration du radon 222 présent naturellement dans l'atmosphère et de béryllium 7 (80 Bq/kg sec), il s'agit d'un radionucléide naturel d'origine cosmogénique).

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est détecté (césium 137 < 2,2 Bq/kg sec, américium 241 < 2,2 Bq/kg sec).

Il serait nécessaire de disposer d'un BRH (Brise Roche Hydraulique) et de temps suffisant pour mettre au jour les systèmes enterrés de collecte des eaux usées de la laverie.



T6 / N°10 et 16 : ancienne pente de halage des bateaux contaminés et abords du quai CEA-SMSR



T6 / N°120 et 128 : contrôles radiométriques sur la plateforme de l'ancien Centre Technique de Décontamination, secteur CEA au Sud du village d'Otepa à Hao . CRIIRAD, le 12 octobre 2005.



T6 / N°131 prélèvement de sol BAT 1 sur la plateforme de l'ancienne aire de décontamination des bateaux.

Tableau T6-2 : / échantillons BAT1, LAV1 et VITR1 du secteur CEA à HAO / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A22	181005A35	181005A40
Code prélèvement	LAV1	BAT1	VITR1
Nature de l'échantillon	Terre de surface	Béton superficiel	Morceau vitrifié
Lieu de prélèvement	Ancien Centre Technique de Décontamination	Zone de décontamination bateaux	Lagon site CEA
Flux gamma DG5 (c/s)			
Mode de prélèvement	Racloir	Burin	Manuel
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	Habitant Otepa
Date d'échantillonnage	12/10/2005	12/10/2005	12/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C	Non séché	Non séché
N°analyse	22027	22006	21994
Géométrie	C P	C P	C P
Etat Frais / Sec	s	f	f
Masse analysée (g)	34,45	71,38	123,55
Temps de comptage (s)	31 350	26 350	232 850
TMS	48,90%	-	-
Date de la mesure	05/12/2005	25/11/2005	18/11/2005

Naturels		Energie (KeV)		Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme			
Chaîne de l'uranium 238							
Th234*	63,3	< 111	< 98	< 14			
Ra226**	186,1	< 20	9 ± 5	< 1			
Pb214	351,9	< 15	9 ± 5	< 1			
Bi214	609,3	< 25	9 ± 5	< 3			
Pb210*	46,5	380 ± 80	< 31	< 13			
Chaîne de l'uranium 235							
U235	163,4	< 28	< 14	< 5			
Chaîne du thorium 232							
Ac228	911,2	< 23	< 19	< 5			
Pb212	238,6	< 10	15 ± 4	< 1			
Tl208	583,0	< 13	5 ± 3	< 1			
K40	1 460,8	< 159	< 117	3 398 ± 364			
Be7	477,6	80 ± 34	< 8	< 2			

Artificiels	Energie (KeV)				
Cs137	661,6	< 2,2	< 1,2	< 0,3	
Cs134	604,7	< 1,9	< 1,0	< 0,2	
Co58	810,8	< 3,2	< 1,5	< 0,4	
Co60	1 332,5	< 1,8	< 0,9	< 0,3	
Mn54	834,8	< 2,2	< 1,2	< 0,3	
Sb125	427,9	< 5,1	< 2,6	< 0,7	
I131	364,5	< 202,3	< 40,3	< 5,9	
Ce144	133,5	< 10,0	< 5,1	< 1,3	
Ag110m	657,7	< 2,1	< 1,1	< 0,3	
Am241*	59,5	< 2,2	< 1,1	< 0,3	
I129*	29,6	< 2,2	< 1,2	< 0,3	
Ru106	621,9	< 20,3	< 9,6	< 2,6	

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

6.3.3 Ancienne fosse de récupération des effluents liquides

Il existait, selon plusieurs témoins, une ancienne fosse en bordure de l'aire de décontamination des bateaux et à environ une vingtaine de mètres du Centre Technique de Décontamination (point GPS N°37).

Nous avons rencontré sur site Monsieur Kavera, qui nous a indiqué qu'il avait 14 ans en 1963, lorsqu'il a commencé à travailler à Hao pour le CEP, et qu'il a quitté le CEA en 1977.

Selon monsieur Kavera, cette fosse, profonde d'environ 2 mètres, était à un moment donné pleine de goudron. Monsieur Kavera aurait participé, vers 1998 au reconditionnement de ce goudron en fûts de 200 litres pour le compte de la société « Grands Travaux de l'Est ». Les fûts auraient été évacués. La fosse aurait été ensuite remplie de tout venant et recouverte de ciment (« 3 toupies de ciment »).

Selon monsieur Kavera, 2 tuyauteries débouchaient dans la fosse :

- un tuyau de 30 centimètres de diamètre dont l'orientation correspondrait à l'ancien Centre de Décontamination Technique.
- Une buse de diamètre 70 centimètres, orientée en direction du lagon. Monsieur Kavera se souvient du diamètre important de cette buse puisqu'il « cassait la croûte assis dans le tuyau ».

Les contrôles radiométriques effectués sur le ciment de couverture de la fosse n'ont révélé aucune anomalie (10 à 20 c/s).

Monsieur Kavera se souvient avoir vu nettoyer les bateaux mais ne sait pas où s'écoulaient les eaux de lavage. Il se souvient qu'au bord du lagon débouchait une buse, au droit de la fosse, au sud du quai SMSR. Cette buse ciment était posée sur des plots (dont certains sont encore visibles) et se prolongeait sur environ 100 mètres vers le lagon. Monsieur Max Tapotofarerani nous a indiqué par contre n'avoir pas souvenir de l'existence de cette buse.

Afin de tenter de lever le doute nous avons fait procéder, en présence de messieurs Kavera et Tapotofarerani, à une tranchée perpendiculairement à l'emplacement supposé de la partie enterrée de la buse, à quelques mètres au droit des plots situés dans le lagon (point GPS N°51) et à 90 m de la bordure est de la laverie (Photographie [N°T6-126 ci-dessous](#)).

La fouille a été poursuivie sur environ 1,5 mètre de profondeur jusqu'au niveau de venue des eaux du lagon et sur plusieurs mètres de longueur sans qu'une buse enterrée puisse être retrouvée. La tranchée a été rebouchée.

Pour mener à bien ce travail il conviendrait de disposer d'archives (plans des bâtiments et descriptif des réseaux enterrés), ou d'être prêts à effectuer des fouilles pendant plusieurs jours.



T6 / N°126 : recherche de l'ancienne canalisation de rejet au lagon au droit de l'ancien Centre Technique de Décontamination, secteur CEA au Sud du village d'Otepa à Hao. CRIIRAD, le 12 octobre 2005.

6.3.4 Emplacement de l'ancienne piste d'atterrissage hélicoptère

Selon messieurs Max Tapotofarerani et Raymond Pia, sur cette aire bétonnée atterrissaient des hélicoptères. Des camions amenaient le « noyau » de la bombe, chargé au moyen d'une grue sur un chariot roulant sur des rails. Ce matériel était ensuite déchargé dans un bâtiment où il était manipulé à distance en boîte à gants (« mains artificielles »). L'emplacement exact des rails n'a pas été retrouvé.

Les contrôles radiamétriques effectués par balayage aléatoire dans tout le secteur n'ont révélé aucune anomalie (15 à 20 c/s). (Photographie [N°T5-182 ci-dessous](#)).



T5 / N°182 : contrôles radiamétriques sur l'ancienne zone de déchargement des matières nucléaires du secteur CEA au Sud du village d'Otepa à Hao. CRIIRAD, le 11 octobre 2005.

6.3.5 Emplacement du bâtiment radiochimie

Le bâtiment est totalement arasé. Il est situé au niveau du point GPS N°36, à quelques mètres du bord du lagon, à environ 290 mètres au sud du quai SMSR.

Les dépressions correspondant à ses fondations sont remplies de monticules de terre, gravats, ferrailles, câbles, armoires électriques.

Sondage au tractopelle

Un sondage aléatoire au tractopelle a été effectué à travers un monticule de ferrailles et gravats (Photographies N° [T6-100](#), [101](#) et [107 ci-après](#)).

Les contrôles radiamétriques effectués par balayage aléatoire sur ces gravats (poutre métallique en T, isolants, câbles électriques, tableau de commande) n'ont révélé aucune anomalie (10 à 15 c/s).

Analyse d'eau en fond de fouille

La fouille a été poursuivie jusqu'au substratum corallien à moins de 2 mètres de profondeur. Une venue d'eau saumâtre a permis de réaliser un échantillonnage E4 (Photographies N° [T6-101 ci-après](#)).

Cette eau a fait l'objet d'un dosage de tritium au laboratoire de la CRIIRAD (résultat sur eau distillée inférieur à la limite de détection de 2,5 Bq/l).

La mesure des indices d'activité alpha et bêta globale a été confiée au laboratoire de l'Institut Scientifique de Santé Publique à Bruxelles¹⁸.

L'indice d'activité alpha globale est inférieur à la limite de détection¹⁹ ($< 1,57$ Bq/l).

L'indice d'activité bêta globale est élevé (7,5 Bq/l) mais s'explique par la teneur en potassium 40 naturel (8,5 Bq/l). Cette teneur est classique pour une eau de mer.

6.3.6 Emplacement d'un atelier proche du bâtiment radiochimie

Les mesures radiométriques effectuées au droit de ce qui devait être l'ancien atelier (cf croquis C5 ci-dessous), à proximité du bâtiment radiochimie, n'ont révélé aucune anomalie (10 à 15 c/s).

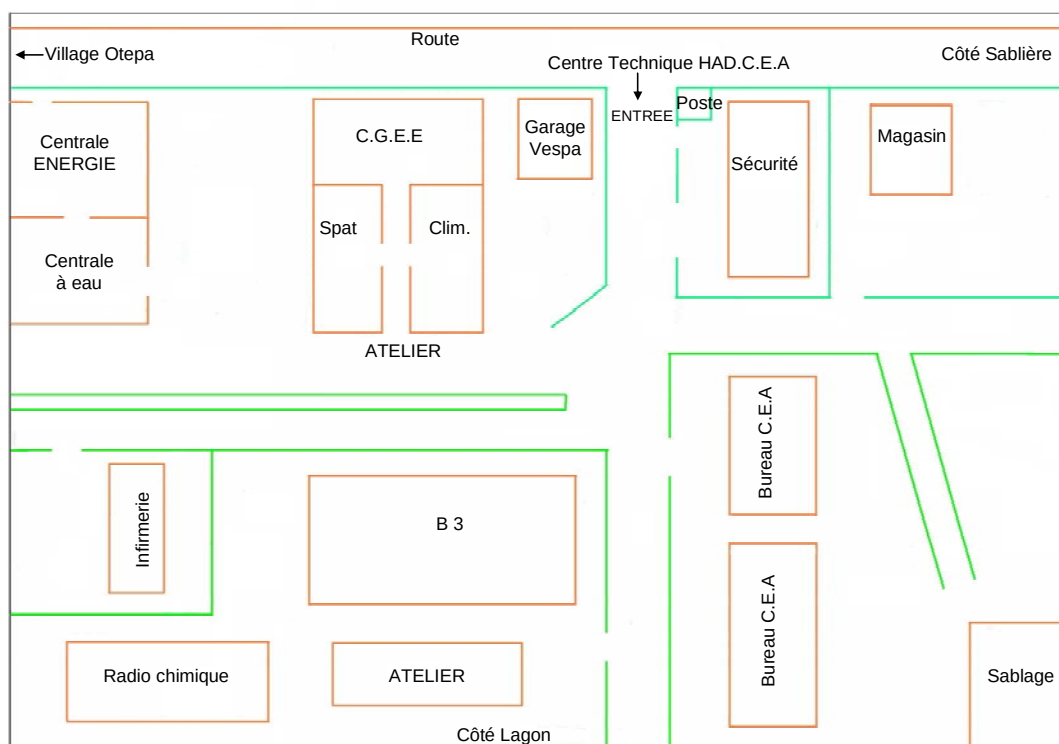
L'angle nord-est de ce bâtiment (point GPS N°38) est situé à environ 170 mètres à l'ouest de l'entrée du site CEA (point GPS n°35).

Les repérages ayant permis de découvrir un regard avec des vannes (point GPS n°46), un sondage au tractopelle a été effectué jusqu'à mettre au jour les tuyauteries connectées aux vannes. Des mesures radiométriques au DG5 et des mesures de débit de dose gamma ambiant ont été effectuées pendant toute la durée du chantier (compteur proportionnel compensé en énergie LB 123 de marque Berthold). Aucun excès de rayonnement n'a été mis en évidence contre les tuyauteries et les sols excavés (10 à 30 c/s).

Selon des témoins locaux, les eaux usées issues du secteur B3 et Radiochimie étaient évacuées vers l'océan par une conduite de plus de 200 mètres de long.

Compte tenu de leur faible enfouissement dans le sol, il est peu probable que les tuyauteries excavées près de l'atelier soient celles qui auraient permis d'évacuer des effluents liquides vers l'océan. Les matériaux ont été repositionnés dans la fouille et le sol nivelé.

Carte C5 : croquis de l'ancien site CEA à HAO (réalisé par M. Pia ancien travailleur du site).



¹⁸ S'agissant d'eau saumâtre, le laboratoire Eichrom n'était pas en effet en mesure de réaliser les contrôles.

¹⁹ La limite est très élevée compte tenu des caractéristiques physico-chimiques de cette eau. La réalisation de contrôles plus poussés nécessiterait des dosages complémentaires.



T6 / N°100 et 101 : réalisation d'un sondage au tractopelle au milieu des gravats de l'ancien bâtiment radiochimie, secteur CEA au Sud du village d'Otepa à Hao, vue du fond de fouille (eau E4) . CRIIRAD, le 12 octobre 2005.



T6 / N°107 : contrôles radiamétriques sur les gravats de l'ancien bâtiment radiochimie, secteur CEA au Sud du village d'Otepa à Hao . CRIIRAD, le 12 octobre 2005.

6.3.7 Emplacement du B3

Nous avons eu beaucoup de difficultés à repérer l'ancien bâtiment B3 (confondu au départ avec l'ancien atelier, cf. croquis [C5](#) ci-dessus).

Le bâtiment a été totalement arasé et il subsiste une dépression jonchée de gravats divers (rocheux et métalliques). Les contrôles radiamétriques effectués par balayage aléatoire sur ces gravats n'ont révélé aucune anomalie (10 à 15 c/s). (Photographies [N°T6-97](#) et [98](#) ci-après).

Compte tenu de la dimension du site (plusieurs centaines de mètres carrés) et de l'absence d'indices visuels en surface, il n'a pas été possible d'entreprendre la réalisation de sondages au tractopelle pour rechercher d'éventuelles canalisations de rejets d'effluents liquides enterrées.



T6 / N°97 et 98 : Contrôles radiamétriques sur les gravats de l'ancien blockhaus B3 (assemblage de la bombe), secteur CEA au Sud du village d'Otepa à Hao . CRIIRAD, le 12 octobre 2005.

6.3.8 Bordure du lagon au droit du site CEA

Contrôles radiamétriques

Les contrôles radiamétriques effectués le long du lagon sur plus de 400 mètres, depuis le quai SMSR jusqu'au droit du bâtiment radiochimie et au-delà n'ont révélé aucune anomalie (10 à 15 c/s sur les sables et sols coralliens, y compris sur des ferrailles, câbles, cunettes en ferrailles ou en ciment ([Photographie N°T6-24 ci-dessous](#)).



T6 / N°24 : contrôles radiamétriques sur des gravats côté lagon au droit des anciens laboratoires du CEA au Sud du village d'Otepa à Hao . CRIIRAD, le 11 octobre 2005.

Analyse de matériaux vitreux

En marge de la réunion publique, en soirée du 12 octobre 2005 à Otepa, une habitante a remis à la CRIIRAD un échantillon d'un matériau solide vitreux de couleur jaune (code VITR1). Selon cette personne, ce type de matériau est décelé assez régulièrement par les habitants au bord du lagon. L'origine de ces matériaux vitreux n'est pas connue.

L'analyse par spectrométrie gamma effectuée au laboratoire de la CRIIRAD (cf tableau [T6-2 pages précédentes](#)) a révélé la présence d'une teneur élevée en **potassium 40** (3 400 Bq/kg). Le potassium présente naturellement des teneurs élevées dans les verres standard et son isotope K40 peut avoir des activités de 1 000 Bq/kg et plus.

L'activité des radionucléides artificiels émetteurs gamma reste inférieure aux limites de détection (césium 137 < 0,3 Bq/kg, américium 241 < 0,3 Bq/kg).

6.4 Contrôles effectués sur l'ancienne aire de décontamination des avions

Compte tenu des activités de décontamination d'avions intervenues sur cette zone, des contrôles radiamétriques y ont été effectués par l'équipe CRIIRAD durant l'après midi du mardi 11 octobre 2005 et la fin de journée du mercredi 12 octobre 2005.

La surface de l'aire de décontamination

Les contrôles radiamétriques effectués sur tout le pourtour de l'aire et de façon aléatoire sur toute la surface (secteurs 4, 4' et 5 sur le croquis C6 ci-dessous), n'ont révélé aucune anomalie significative (10 à 20 c/s sur les secteurs 4' et 5 et 10 à 30 c/s sur le secteur 4).

Quelques échantillons de la couche superficielle ont été prélevés pour analyse en laboratoire. Il s'agit :

- De remblais bruns (RB1, 15 c/s), situés sous un feuilleté constitué d'une chape, de bitume et de béton, et d'un mélange sableux comportant de la soupe de corail sous le remblai précédent (SCRB1, 15 c/s), échantillonnés sur un secteur pouvant correspondre à l'aire 4' du croquis C6. Cet échantillon a été choisi car la surface était friable à cet endroit.
- Du béton de comblement d'un rail métallique (RB2, 30 c/s) et d'un échantillon de béton (RB3, 25 c/s) à l'angle nord de l'aire 4 (croquis C6 et photographie N°T6-140 ci-après). La couche de béton a une épaisseur très importante (plus de 20 centimètres). Ces échantillons ont été choisis du fait de niveaux radiamétriques proches de 20 à 30 c/s.

Les analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD sur ces 4 échantillons (cf. tableau T6-3 ci-après) n'ont révélé aucune présence de radionucléides artificiels émetteurs gamma (césium 137 < 0,7 à 1,2 Bq/kg sec, américium 241 < 0,7 à 1,3 Bq/kg sec).

Carte C6 : croquis de l'ancienne zone de décontamination des avions à l'extrémité sud de la piste d'aviation à HAO (document militaire).

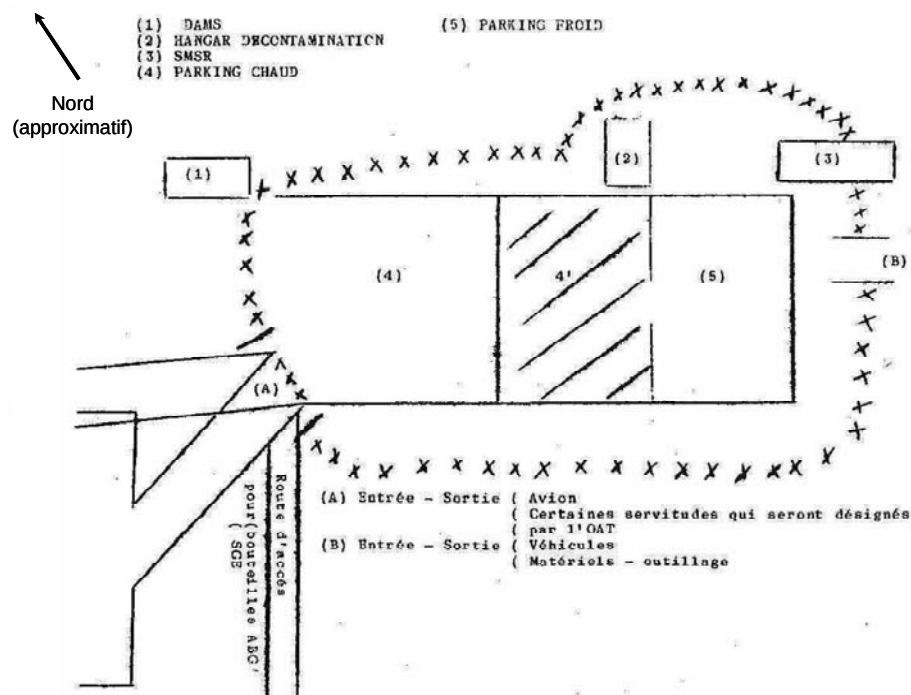


Tableau T6-3 : / échantillons RB1, SCRB1, RB2 et RB3 de remblais et béton prélevés dans le secteur de l'ancienne aire de décontamination des avions à HAO / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A36	181005A37	181005A38	181005A39
Code prélèvement	RB1	SCRB1	RB2	RB3
Nature de l'échantillon	Remblai brun	Soupe de corail	Béton d'un rail	Béton épaisseur 20cm
Profondeur	Surface	sous remblai RB1	Surface	Surface
Lieu de prélèvement	Zone 4' décontamination avions	Zone 4' décontamination avions	Zone 4 secteur décontamination avions	Zone 4 secteur décontamination avions
Flux gamma DG5 (c/s)	15	15	20 à 30	25
Mode de prélèvement	Barre à mine	Barre à mine et truelle	Burin	Burin
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	12/10/2005	12/10/2005	12/10/2005	12/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C	Frais	Frais	Frais
N°analyse	22019	22005	22024	22009
Géométrie	C P	C P	B P	C P
Etat Frais / Sec	s	f	f	f
Masse analysée (g)	92,04	79,55	77,34	67,76
Temps de comptage (s)	27 781	54 440	25 398	32 040
TMS	91,90%	-	94,40%	-
Date de la mesure	01/12/2005	24/11/2005	02/12/2005	28/11/2005

Naturels	Energie (KeV)
----------	---------------

Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	< 70,7	< 46,0	45,4 ± 19,6	< 61,6
Ra226**	186,1	12,3 ± 4,5	< 4,3	11,3 ± 4,5	11,2 ± 5,2
Pb214	351,9	9,0 ± 4,0	< 4,8	12,0 ± 4,6	11,2 ± 5,3
Bi214	609,3	15,6 ± 5,0	< 3,8	10,5 ± 4,4	11,1 ± 5,0
Pb210*	46,5	< 22,1	< 29,3	< 56,4	< 34,8

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	< 26,0	< 9,9	< 11,6	< 13,9
------	-------	--------	-------	--------	--------

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	< 12,8	< 10,2	13,8 ± 7,6	22,0 ± 9,9
Pb212	238,6	6,5 ± 2,4	< 1,3	17,4 ± 4,1	19,5 ± 4,9
Tl208	583,0	< 3,3	< 1,5	3,2 ± 1,8	5,2 ± 2,6

K40	1 460,8	< 89,7	< 42,1	< 75,0	< 66,9
Be7	477,6	< 6,2	< 4,6	< 6,5	< 7,8

Artificiels	Energie (KeV)
-------------	---------------

Cs137	661,6	< 0,9	< 0,7	< 1,0	< 1,1
Cs134	604,7	< 0,7	< 0,6	< 0,8	< 0,9
Co58	810,8	< 1,2	< 0,9	< 1,3	< 1,3
Co60	1 332,5	< 0,7	< 0,6	< 0,6	< 0,9
Mn54	834,8	< 0,9	< 0,7	< 0,9	< 1,1
Sb125	427,9	< 2,1	< 1,8	< 2,3	< 2,5
I131	364,5	< 51,3	< 24,2	< 61,2	< 53,2
Ce144	133,5	< 3,9	< 3,1	< 4,6	< 4,9
Ag110m	657,7	< 0,9	< 0,7	< 0,9	< 1,1
Am241*	59,5	< 0,9	< 0,7	< 1,3	< 1,2
I129*	29,6	< 0,9	< 0,7	< 1,1	< 1,1
Ru106	621,9	< 8,3	< 6,2	< 7,4	< 9,8

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

On observe bien, sur cette aire plane, située en bout de piste entre l'océan et le terrain de football, plusieurs sortes de revêtements béton (rugueux puis lisse) et goudron. Les rectangles ainsi délimités évoquent ceux du croquis C6.

Mesuré sur le terrain au GPS, le plus petit côté de l'aire 5 ferait 150 mètres et la diagonale du rectangle 4+4'+5 ferait 470 mètres.

Les traces de ferrallages visibles au sol sur site ne correspondent pas aux emplacements de structures et bâtiments du croquis C6. Une étude complémentaire est nécessaire avec un plan côté des anciennes installations.

Des traces caractéristiques des dents du godet d'une pelle mécanique sont visibles sur toute la surface 4' (croquis C6 et photographie T6-138 ci-après). Ceci suggère que la surface initiale de l'aire a été décapée. Dans ces conditions, l'absence d'anomalie radiamétrique n'est pas surprenante.

Les déchets en bord de l'océan

La question se pose du devenir des gravats issus du démantèlement de ce site et susceptibles d'être contaminés.

Côté océan, au droit du site, une butte artificielle de plusieurs centaines de mètres de long semble avoir été constituée suite au démantèlement (si l'on compare la situation actuelle aux photographies de l'époque).

D'une façon générale le long de l'océan, sur plus de 800 mètres de long, le rivage est couvert de remblais, gravats, ferrailles, tubes fibrociment, plastiques, vannes, pièces inox, blocs de bétons, câbles (Photographies N°T6-48 et 53 ci-après).

Les contrôles radiamétriques effectués par balayage aléatoire ont permis de mettre en évidence 2 secteurs présentant de légères anomalies radiamétriques :

- Un matériau sablonneux ressemblant à du charbon actif en pied de la butte de gravats au droit du site, côté océan, a été prélevé pour analyse (CA3, 60 à 120 c/s).
- Un matériau vitreux ressemblant à une coulure de ciment a été échantillonné dans le secteur de déversement des surplus de la centrale à béton (MV1, 50 c/s, cf. photographie N°T6-56 pages suivantes).

Les analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD sur ces 2 échantillons (cf. tableau T6-4 ci-après), n'ont révélé aucune présence de radionucléides artificiels émetteurs gamma (césium 137 < 0,1 à 1,4 Bq/kg sec, américium 241 < 0,7 à 1,6 Bq/kg sec).

Le fait que le niveau de rayonnement gamma au contact de ces matériaux soit nettement supérieur au niveau typique des sols coralliens (10 à 20 c/s) s'explique par la présence de radionucléides naturels émetteurs gamma des chaînes de l'uranium 238 (environ 100 Bq/kg) et du thorium 232 (environ 80 Bq/kg). Dans le cas de l'échantillon CA 3, on mesure également une teneur élevée en potassium 40 (environ 900 Bq/kg).

Compte tenu de la surface à contrôler (plusieurs hectares), les mesures effectuées lors de cette mission sont très préliminaires. Une expertise approfondie nécessitera de sonder tous ces gravats au moyens d'engins mécaniques. Il serait utile de prévoir à cette occasion leur évacuation afin de restaurer un environnement satisfaisant.

Tableau T6-4 : / échantillons MV1 et CA3 de matériaux prélevés dans les remblais le long de l'océan au droit de l'aire de décontamination des avions à HAO / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A34	181005A46
Code prélèvement	MV1	CA3
Nature de l'échantillon	Matière vitreuse ou ciment	Matière sablonneuse semblant mélangée à du charbon actif
Profondeur	décapage	surface
Lieu de prélèvement	Contre-bas centrale béton	Contre-bas piste, côté océan
Flux gamma DG5 (c/s)	50	60 (surface) à 120 (fond)
Mode de prélèvement	Burin	pelle
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	11/10/2005	11/10/2005
Préparation	Frais	Frais
N°analyse	22015	21947
Géométrie	C P	C MAR
Etat Frais / Sec	f	f
Masse analysée (g)	70,84	763,16
Temps de comptage (s)	32 110	24 130
TMS	87,10%	-
Date de la mesure	30/11/2005	28/10/2005

Naturels	Energie (KeV)	Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme					
Chaîne de l'uranium 238							
Th234*	63,3	112	±	43	109	±	22
Ra226**	186,1	85	±	15	113	±	13
Pb214	351,9	91	±	15	116	±	14
Bi214	609,3	79	±	15	109	±	13
Pb210*	46,5	105	±	37	53	±	14
Chaîne de l'uranium 235							
U235	163,4		<	17		<	5
Chaîne du thorium 232							
Ac228	911,2	78	±	19	83	±	12
Pb212	238,6	78	±	13	90	±	11
Tl208	583,0	28	±	6	28	±	4
K40	1 460,8		<	316	917	±	110
Be7	477,6		<	9		<	2

Artificiels	Energie (KeV)				
Cs137	661,6	<	1,4	<	0,3
Cs134	604,7	<	1,1	<	0,3
Co58	810,8	<	2,0	<	0,3
Co60	1 332,5	<	1,1	<	0,3
Mn54	834,8	<	1,3	<	0,4
Sb125	427,9	<	3,3	<	0,8
I131	364,5	<	82,3	<	1,2
Ce144	133,5	<	6,4	<	2,1
Ag110m	657,7	<	1,3	<	0,3
Am241*	59,5	<	1,6	<	0,7
I129*	29,6	<	1,4	<	0,6
Ru106	621,9	<	12,9	<	2,8

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre



T6 / N°138 : traces des dents du godet d'une pellet euse sur l'ancienne aire de décontamination des avions au Nord du village d'Otepa à Hao, N°38 : terrain de foot en bordure de l'ancienne aire de décontamination.



T6 / N°140 : prélèvement de béton superficiel à proximité de l'ancienne aire de décontamination des avions au Nord du village d'Otepa à Hao . A gauche : M. Jacky Bryant, représentant à l'Assemblée de Polynésie. T6 / N°56, zone de déversement de béton.



T6 / N°48 et 53 : des gravats sur plus de 800 mètres côté océan au droit de l'ancienne zone de décontamination des avions au nord du village d'Otepa à Hao . CRIIRAD, le 11 octobre 2005.

6.5 Contrôles effectués à proximité de l'aéroport et du transit maritime

Le 13 octobre 2005, dans la demi-heure qui a précédé le décollage pour Papeete, quelques contrôles radiamétriques ont été effectués :

- autour de l'**aéroport** (en particulier à l'endroit où aurait été exposé, pendant plusieurs années, un avion Vautour). Dans le cas où il aurait été insuffisamment décontaminé, on aurait pu craindre un transfert de contaminants au sol par les pluies.
- au niveau du **transit maritime** situé à l'ouest de l'aéroport et à l'est de la passe (contrôles effectués sur des ancres, des groupes électrogènes et / ou compresseurs mobiles – et en particulier sur les filtres à air, etc, cf. [photographies N°T7-1, 2 et 4 ci-dessous](#)).
- sur des ferrailles, gravats, batteries, filtres à huile, blocs de béton situés plus au nord-ouest du transit maritime sur un secteur manifestement dédié à l'**entreposage de gravats et ferrailles** ([Photographie N°T7-6 et 10 ci-dessous](#)).

Aucune anomalie radiamétrique significative n'a été mise en évidence (15 à 40 c/s en fonction du type de matériau).

Compte tenu de la quantité impressionnante de gravats et ferrailles entassés dans ce secteur, les quelques minutes passées à réaliser les contrôles ne permettent en aucun cas de conclure à l'absence de contamination résiduelle.



T7 / N°1, N°2, N°4 : contrôles radiamétriques sur des matériels au niveau du Transit Maritime à Hao, le 13 octobre 2005.



T7 / N°6 et N°10 : contrôles radiamétriques sur des gravats et blocs de béton au nord du Transit Maritime et de l'Aéroport à Hao . CRIIRAD, le 13 octobre 2005.

6.6 Analyse d'algues et corail

Des échantillons d'algues (code ALG1) et de corail (code COR1) ont été prélevés par la CRIIRAD, le matin du jeudi 13 octobre 2005, dans le lagon, au droit de la pension Flores, soit à environ 410 mètres au sud de l'église d'Otepa.

Note : ces prélèvements ayant été effectués à titre de « sondage » très préliminaire, ils ont fait l'objet des seules analyses par spectrométrie gamma.

Les résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD sont reportés dans le tableau [T6-5 ci-après](#). Ces résultats n'ont révélé aucune anomalie.

Algues

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est détecté dans les algues (césium 137 < 0,3 Bq/kg sec, américium 241 < 0,4 Bq/kg sec).

On détecte par contre le plomb 210 (40 Bq/kg sec) et des traces de béryllium 7. Il s'agit de radionucléides naturels.

Corail

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est détecté dans le corail analysé (césium 137 < 0,1 Bq/kg sec, américium 241 < 0,1 Bq/kg sec).

On détecte par contre certains radionucléides naturels émetteurs gamma : des descendants de l'uranium 238 (thorium 234 : 42 Bq/kg sec et radium 226 : 16 Bq/kg sec), ainsi que du béryllium 7 (en limite des capacités de détection, 2,2 Bq/kg sec). L'activité de l'uranium 238-thorium 234 dans le corail échantillonné à Hao est comparable à celle mesurée dans la soupe de corail de Gatavake. L'uranium 235 n'est détecté dans aucun de ces échantillons.

Note : Il est bien évident que la situation radiologique du lagon de Hao ne peut être appréhendée par ces 2 seules analyses. Une campagne de prélèvement et d'analyse comportant des dizaines d'échantillons d'eau, flore et faune marine, coraux, et des carottages de sédiments serait nécessaire.

Tableau T6-5 : / échantillons de soupe de corail de Mangareva (SC1) et de coraux (COR1) et algues (ALG1) prélevés dans le lagon au droit du village d'Otepa à HAO / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A33
Code prélèvement	SC1
Nature de l'échantillon	Soupe de corail
Lieu de prélèvement	MANGAREVA (Gatawake)
Lieu de prélèvement (bis)	Mangareva
Flux gamma DG5 (c/s)	10
Mode de prélèvement	Truelle
Préleveur	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	06/10/2005

Préparation	Frais
-------------	-------

N° analyse	22010
Géométrie	B MAR
Etat Frais / Sec	f
Masse analysée (g)	619,58
Temps de comptage (s)	146 855
TMS	83,30%
Date de la mesure	28/11/2005

181005A41	181005A42
COR1	ALG1
Corail vivant	Algues sur récif
Lagon pension "Flores"	Lagon pension "Flores"
Hao	Hao
NM	NM
Manuel	Manuel
CRIIRAD	CRIIRAD
13/10/2005	13/10/2005

Séchage étuve 90°C	Frais
--------------------	-------

21960	21949
C MAR	C MAR
s	f
375,39	449,51
230 210	240 900
85,10%	26,29%
04/11/2005	28/10/2005

Naturels	Energie (KeV)
----------	---------------

Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	41,9	±	6,2
Ra226**	186,1	1,3	±	0,5
Pb214	351,9	1,6	±	0,5
Bi214	609,3	1,1	±	0,5
Pb210*	46,5		<	2,5

41,8	±	9,0	<	79,7
16,0	±	2,3	<	1,7
16,5	±	2,3	<	1,5
15,5	±	2,3	<	1,8
	<	8,6	40,5	± 12,5

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4		<	4,5
------	-------	--	---	-----

	<	6,4		<	8,0
--	---	-----	--	---	-----

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2		<	1,4
Pb212	238,6		<	1,0
Tl208	583,0		<	0,3

	<	1,7		<	3,9
	<	0,2		<	0,8
	<	0,3		<	0,9

K40	1 460,8		<	8,1
Be7	477,6		<	0,5

	<	28,4		<	82,4
2,2	±	1,2	5,4	±	3,2

Artificiels	Energie (KeV)
-------------	---------------

Cs137	661,6		<	0,1
Cs134	604,7		<	0,1
Co58	810,8		<	0,1
Co60	1 332,5		<	0,1
Mn54	834,8		<	0,1
Sb125	427,9		<	0,2
I131	364,5		<	6,2
Ce144	133,5		<	0,4
Ag110m	657,7		<	0,1
Am241*	59,5		<	0,1
I129*	29,6		<	0,1
Ru106	621,9		<	0,6

	<	0,1		<	0,3
	<	0,1		<	0,2
	<	0,1		<	0,3
	<	0,1		<	0,2
	<	0,1		<	0,3
	<	0,2		<	0,7
	<	0,5		<	0,9
	<	0,5		<	1,4
	<	0,1		<	0,3
	<	0,1		<	0,4
	<	0,2		<	0,5
	<	0,8		<	2,4

Légende :

± : Marge d'incertitude < : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

7 Commentaires sur l'exposition passée induite en Polynésie par les essais nucléaires atmosphériques de 1966 à 1974

7.1 Rappels de notions concernant la radioprotection

Notion de dose

Note : le lecteur familier de ces notions peut se reporter directement au paragraphe 7.2.

La dose absorbée subie par un organe ou un tissu donné (exprimée en Gray) est la quantité d'énergie délivrée par des rayonnements ionisants (alpha, bêta, gamma, neutrons, etc..) par kilogramme de matière (1 Gray = 1 Joule par kilogramme).

L'équivalent de dose, exprimé en Sievert (Sv) rend compte des effets biologiques au niveau de l'organe exposé. Il est le produit de la dose absorbée par un facteur de pondération dépendant uniquement du type de rayonnement.

En effet, selon le type de rayonnement, à dose absorbée égale dans un organe donné, les effets sanitaires ne sont pas forcément identiques.

Ainsi, les particules alpha, qui sont très peu pénétrantes dans les tissus, perdent leur énergie sur une très courte distance. Elles sont capables de créer une densité d'ionisation très importante, alors que des rayonnements plus pénétrants comme les rayonnements bêta (électrons) ou gamma (ondes électromagnétiques) ont une trajectoire plus longue et une densité d'ionisation plus faible. Pour les rayonnements bêta et gamma, dose absorbée et équivalent de dose sont considérés comme égaux.

Pour les rayonnements alpha, l'équivalent de dose est considéré, par les modèles officiels, comme 20 fois supérieur à la dose absorbée. Cela signifie que les particules alpha sont 20 fois plus efficaces que les particules bêta ou les rayonnements gamma pour produire des effets cancérogènes à long terme.

La dose efficace que nous dénommerons pour simplifier « dose », s'exprime également en Sievert ou ses sous-multiples comme le milliSievert (mSv soit un millième de Sievert) et le microSievert (μSv soit un millionième de Sievert). Elle permet d'évaluer les risques sanitaires de façon homogène quels que soient les radionucléides et les organes concernés. Elle se calcule en ajoutant les doses équivalentes aux différents organes exposés pondérées par un facteur spécifique à chaque organe et qui dépend de sa radiosensibilité propre.

L'exposition externe

La manière dont les rayonnements émis par des radionucléides présents dans l'environnement atteignent l'organisme humain est appelée « voie d'exposition ». Dans le cas des essais nucléaires de nombreuses voies d'exposition sont concernées.

L'exposition externe est celle produite par des radionucléides présents à l'extérieur de l'organisme, par exemple dans l'air ambiant ou sur le sol. En se désintégrant, ces radionucléides peuvent émettre des rayonnements ionisants qui traversent l'air ambiant et atteignent la personne. En pratique, les principaux contributeurs à l'exposition externe sont les rayonnements bêta et surtout gamma.

En effet, le parcours des rayonnements alpha dans l'air n'est que de quelques centimètres (2,5 cm pour les alpha de 4,2 MeV émis par l'uranium 238), et une « feuille de papier à cigarette » ou un sachet plastique suffisent à les stopper (le parcours des alpha de l'uranium 238 est de 20 et 30 microns respectivement à travers l'aluminium et l'eau).

Les particules bêta peuvent parcourir, selon leur énergie, quelques centimètres à quelques mètres dans l'air, et quelques dizaines de microns à quelques millimètres dans l'eau (ou le corps humain).

Les rayonnements gamma, très pénétrants car sans masse et sans charge électrique, peuvent parcourir plusieurs dizaines de mètres dans l'air et plusieurs centimètres dans l'eau avant de perdre la moitié de leur énergie.

Dans le cas d'une exposition externe liée à un dépôt radioactif au sol, il faut noter que dès que l'on s'éloigne de quelques dizaines de centimètres, les rayonnements gamma sont les principaux contributeurs au débit de dose (irradiation externe)

En effet, à cette distance le rayonnement alpha émanant de la source est totalement arrêté par les couches d'air, et une fraction importante du rayonnement bêta l'est également.

Dans ce cas, le paramètre pertinent pour évaluer l'exposition externe globale de l'organisme est le débit de dose au corps entier. Il est exprimé en microGray par heure ou en microSieverts par heure, ce qui est équivalent, dans le cas des rayonnements bêta et gamma

Par contre, au contact direct ou à courte distance de matériaux contaminés par des émetteurs alpha (uranium 238, uranium 235, plutonium 239, etc....) ou bêta (carbone 14, strontium 90), l'exposition de la partie superficielle de la peau par les rayonnements bêta et alpha peut devenir importante. Son évaluation nécessite alors la réalisation de mesures spécifiques (dose à la peau).

L'exposition interne

L'exposition interne est celle produite par les rayonnements émis par des radionucléides présents dans l'organisme suite à une incorporation (ingestion, inhalation, transfert transcutané, migration au niveau des lésions de la peau).

Les coefficients de dose (en microSieverts par becquerels) dépendent alors du radionucléide (c'est-à-dire du type de rayonnement qu'il émet, de sa période physique et biologique, de son métabolisme spécifique dans le corps humain, etc..), de la voie d'exposition et de l'âge de la personne au moment de l'incorporation (ingestion, inhalation, etc..).

A titre indicatif nous avons reproduit dans le [tableau T7-1](#) ci-après les coefficients de dose par ingestion des principaux radionucléides liés aux essais nucléaires.

On constate que la gamme de variation de ces facteurs couvre 4 ordres de grandeur. Le coefficient de dose par ingestion (pour un adulte) pour le plutonium 239 (émetteur alpha) est plus de 10 000 fois supérieur à celui du tritium (émetteur bêta mou).

Il est important de rappeler ici que les facteurs de dose pour les enfants sont beaucoup plus élevés que pour les adultes et que les valeurs mentionnées ici correspondent aux facteurs officiels.

Certains experts estiment qu'ils pourraient, pour certains radionucléides, être sous estimés de plusieurs ordres de grandeur.

La contamination externe

La contamination externe est due à la présence de radionucléides à la surface de la peau.

Elle produit une exposition externe susceptible de se transformer en exposition interne par transfert cutané, par les lésions de la peau, par ingestion (par exemple s'il y a toucher de la surface contaminée puis action de porter ses doigts à la bouche ou de se ronger les ongles), etc..

L'exposition à la radioactivité naturelle

Naturellement, le débit de dose à 1 mètre au dessus du sol (exposition externe) est typiquement en France métropolitaine de l'ordre de 0,1 microSieverts par heure (des valeurs supérieures sont enregistrées, sur certains massifs granitiques en particulier).

Pour une exposition durant une année (soit 8 760 heures) cela représente une dose annuelle liée à l'exposition externe proche de 900 microSieverts.

L'exposition moyenne annuelle interne est estimée par les services officiels à 230 microSieverts par ingestion et 1 300 microSieverts par inhalation du radon 222, un gaz radioactif naturel susceptible de s'accumuler à l'intérieur des habitations.

L'exposition totale annuelle aux radiations d'origine naturelle est estimée en France métropolitaine, par les services officiels, à environ 2 400 microSieverts.

Tableau T7-1 : / facteurs de dose par ingestion pour les principaux radionucléides présents lors des essais nucléaires (arrêté du 1^{er} septembre 2003).

Radionucléide	Origine principale	Période (a)	Emission X ou gamma (a)	Mode de désintégration (a)	Facteur de dose par ingestion Sv/Bq (b)
Tritium ³ H	Matière Nuc ++, PA (Li6, etc..)	12,33 ans	non	bêta	1,80E-11
Samarium 151	PF	90 ans	très faible	bêta	9,80E-11
Prométhéum 147	PF	2,62 ans	très faible	bêta	2,60E-10
Iode 132	Fils Te 132	2,28 heures	oui > 100 %	bêta	2,90E-10
Europium 155	PF	4,96 ans	oui > 80 %	bêta	3,20E-10
Niobium 95	Fils Zr 95	3,61 et 34,97 jours	oui > 25 % et > 99 %	bêta	5,80E-10
Carbone 14	PA, N14 stable	5 730 ans	non	bêta	5,80E-10
Molybdène 99	PF	2,75 jours	oui > 100 %	bêta	6,00E-10
Technetium 99	PF, fils Mo 99	213 000 ans	très faible	bêta	6,40E-10
Neptunium 239	Activation de l'engin, fils U239 et AM 243	2,35 jours	oui > 100 %	bêta	8,00E-10
Zirconium 95	PF	64,02 jours	oui > 98 %	bêta	9,50E-10
Zirconium 93	PF	1,53 million d'A	oui > 10 %, < 31 keV	bêta	1,10E-09
Antimoine 125	PF	2,73 ans	oui > 100 %	bêta	1,10E-09
Europium 152	PA, Eu 151 stable	13,3 ans (et 9,32 h)	oui > 100 %	bêta (28 %)	1,40E-09
Césium 135	PF, fils Xe 135	3,0 millions d'A	non	bêta	2,00E-09
Lanthane 140	PF, fils Ba 140	1,68 jours	oui > 100 %	bêta	2,00E-09
Baryum 140	PF	12,74 jours	oui > 50 %	bêta	2,60E-09
Yttrium 90	fils Sr 90	2,67 j	très faible	bêta	2,70E-09
Cobalt 60	PA, Co 59 stable	5,27 ans (et 10,47 min.)	oui > 100 %	bêta	3,40E-09
Tellure 132	PF	3,26 jours	oui > 100 %	bêta	3,80E-09
Iode 133	PF	20,8 heures	oui > 98 %	bêta	4,30E-09
Plutonium 241	Matière Nuc., capture U 238 et Pu 239	14,4 ans	très faible	bêta	4,80E-09
Ruthénium 106 / Rhodium 106	PF	1,02 an (Eq 29,8 sec.)	oui > 30 %	bêta	7,00E-09
Césium 137	PF	30 ans	oui > 85 %	bêta	1,30E-08
Césium 134	PA, Cs 133 (stable)	2 ans (et 2,9 h)	oui > 100 %	bêta	1,90E-08
Iode 131	PF	8,04 jours	oui > 100 %	bêta	2,20E-08
Strontium 90	PF	28,5 ans	non	bêta	2,80E-08
Iode 129	PF	15,7 millions d'A	oui > 60 %	bêta	1,10E-07
Neptunium 237	Fils U 237 (et Am 241)	2,14 millions d'A	oui > 80 %	Alpha	1,10E-07
Americium 241	Fils Pu 241	432,7 ans	oui > 75 %	Alpha	2,00E-07
Plutonium 238	Matière Nuc., fils Np 238 et Cm 242	87,7 ans	très faible , X 10 %	Alpha	2,30E-07
Plutonium 239	Matière Nuc., fils Np 239	24 110 ans	très faible	Alpha	2,50E-07
Plutonium 240	Matière Nuc., capture U 238, Pu 239-n	6 563 ans	très faible	Alpha	2,50E-07

Légende

(a) Données issues de "Table of Radioactive Isotopes, Browne et Firestone, 1986".

(b) Arrêté du 1er septembre 2003

PF : Produit de Fission PA : Produit d'Activation

Effets sanitaires et facteurs de risques officiels

Les effets sanitaires des faibles doses de rayonnements, reconnus officiellement, sont de 2 types :

- une augmentation des risques de **cancer** (dépendant des organes exposés aux radiations) et
- une augmentation des risques de transmission **d'anomalies génétiques** à la descendance.

Concernant le risque cancérogène, la Commission Internationale de Protection Radiologique évalue le détriment sanitaire à 0,05 par Sievert, soit, sur la base d'une relation linéaire sans seuil, entre la dose et l'effet (relation qu'elle juge la plus probable), 50 cancers mortels pour un million de personnes exposées à une dose de 1 000 microSieverts (et environ 5 fois moins de cancers guérissables).

Les normes de radioprotection actuelles

Les normes de radioprotection internationales, établies pour protéger le public contre les effets sanitaires des rayonnements ionisants comportent 3 principes repris par la directive Européenne EURATOM 96 / 29 et intégrés, avec quelques nuances, dans la réglementation française (Code de la Santé Publique et Décret du 4 avril 2002) :

- la justification : on ne doit mettre en œuvre une pratique entraînant une exposition aux rayonnements ionisants qu'après vérification du fait que les avantages économiques et sociaux sont supérieurs au détriment sanitaire qu'elle est susceptible de provoquer.
- l'optimisation : toutes les expositions doivent être maintenues au niveau le plus faible raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux.
- la dose maximale annuelle admissible. Il s'agit de la dose annuelle cumulée au delà de laquelle le risque de cancer mortel est jugé inacceptable. La directive EURATOM 96/29 a fixé le seuil de l'inacceptable à 1 000 microSieverts par an pour l'exposition à l'ensemble des pratiques (activités humaines générant une exposition). Cette valeur est entendue en plus de l'exposition naturelle et médicale. Pour l'exposition à une seule pratique²⁰, la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) recommande une limite de 300 microSieverts par an. La directive EURATOM a repris cette notion de contrainte de dose pour une source d'exposition unique, sans fixer de limite précise.
- Par ailleurs cette directive considère qu'une pratique qui délivre moins de 10 microSieverts par an à tout citoyen a un impact sanitaire négligeable, à condition que la dose efficace collective soit inférieure à 1 homme fois Sievert.

Note : afin de donner au lecteur un point de comparaison, nous comparerons les doses mentionnées dans la suite de ce document au niveau du risque maximal admissible.

Il correspondait, à l'époque des essais, à une dose de 5 milliSievert par an (en plus du niveau naturel de radiation et hors impact des activités médicales) et a été abaissé désormais à 1 milliSievert par an (Directive Euratom de Mai 1996), compte tenu de l'évolution des connaissances sur les effets pathogènes des rayonnements ionisants.

Afin de déterminer l'exposition globale de la population suite à des essais nucléaires, et de la comparer aux niveaux de risques jugés acceptables, il convient d'ajouter les contributions de tous les radionucléides, pour toutes les voies d'exposition.

²⁰ Le terme de « pratique » est retenu par la directive Euratom pour désigner une activité professionnelle qui génère une exposition aux rayonnements ionisants. Les autorités françaises ont choisi de traduire ce terme par « activité nucléaire ». Pour déterminer l'exposition totale ajoutée par une « pratique » mettant en œuvre des substances radioactives, il faut tenir compte de l'exposition externe et de l'exposition interne.

7.2 Rappel du bilan officiel de la DIRCEN

Dans le cadre du dossier transmis à l'AIEA en 1998, la DIRCEN (Direction des Centres d'Expérimentations Nucléaires) donne trop peu d'informations pour permettre de dresser un bilan scientifique chiffré de l'exposition de la population de Polynésie française aux retombées des essais nucléaires atmosphériques.

La seule pièce qui traite de cette question est le Document²¹ n°13 intitulé : « *Conséquences radiologiques des essais atmosphériques sur les îles de Polynésie Française de 1966 à 1974* ».

Ce document est rédigé en anglais. Les points essentiels sont résumés ci-dessous (traduction effectuée par nos soins).

Entre **1966 et 1974**, la France a procédé à **41 essais nucléaires atmosphériques** au CEP (Centre d'Expérimentations du Pacifique), c'est à dire au dessus des lagons de Moruroa et Fangataufa ou au dessus de l'océan.

Quatre essais sur barge²² ont été réalisés. Ces essais ont été abandonnés en 1967.

Selon la DIRCEN : « *Les sites habités les plus vulnérables ont été les îles Gambier, situées à 400 kilomètres au sud-est des sites d'essais, et l'atoll de Tureia, situé à une centaine de kilomètres au nord. .../...*

La décision de lancer le tir était conditionnée par la démonstration préalable du caractère insignifiant de l'impact sanitaire sur les îles habitées. Les retombées concernaient des secteurs inhabités et les équivalents de dose induits sur les populations par chaque test sont négligeables pour la grande majorité des essais ».

« Cependant, cinq essais nucléaires ont généré des retombées plus significatives sur des sites habités :

- **les îles Gambier en 1966 et 1971,**
- **l'atoll de Tureia en 1967 et 1971 et**
- **Tahiti en 1974. »**

Note : il convient d'être très prudents sur la notion de retombées ou d'impact « significatifs » lorsque cette notion - très subjective - est employée par les institutions à l'origine de l'exposition ou les organismes officiels. La CRIIRAD a démontré à de nombreuses reprises dans le passé, que des travailleurs ou des personnes du public étaient exposés à des doses et donc des risques inacceptables (au sens de la réglementation), alors que ces mêmes doses étaient qualifiées par certains de « non significatives ». Nous montrerons ci-après qu'entre 1966 et 1974, ont eu lieu d'autres retombées conduisant, d'après nos calculs, à des risques sanitaires nettement supérieurs aux limites réglementaires, et qui ne sont pourtant même pas incluses dans la liste établie par la DIRCEN.

Les précisions données sur les retombées « significatives » sont reportées dans le [tableau T7-2](#) ci-dessous élaboré par nos soins à partir des 3 tableaux du document DIRCEN original consacrés respectivement aux Gambier, à Tureia et à Tahiti.

Les doses totales induites par ces retombées, telles que calculées par la DIRCEN sont reportées dans le [tableau T7-3](#) ci-dessous qui est une reproduction du document original.

Les doses estimées par la DIRCEN vont de 0,8 milliSieverts (retombées de juillet 1974 à Tahiti) à 5,5 milliSieverts (retombées de juillet 1966 aux Gambier).

²¹ Geomechanical and Radiological impact of nuclear tests at Mururoa and Fangfataufa (French Polynesia) / CEA-DAM et Ministère de la Défense-DIRCEN / La Documentation Française 1998, Document N°13 Radiological Consequences of the Atmospheric Tests on the Islands of French Polynesia from 1966 to 1994.

²² Ces essais sont particulièrement polluants. En effet, « durant ce type d'explosion, de puissantes forces de sussions s'exercent sur les eaux du lagon, formant une colonne d'eau qui, lorsqu'elle retombe, rabat sur le lagon et ses environs une partie des radionucléides générés par l'explosion. Simultanément une onde de choc se propage à travers le fond du lagon et entraîne une perturbation des sédiments sur une épaisseur d'un à plusieurs mètres ».

Tableau T7-2 : / retombées sur des lieux habités de Polynésie (source : DIRCEN, doc 13).

TEST	DURATION	NATURE	MAX. DOSE RAT *	DOSE RATE END OF FALLOUT	DEPOSITION (Bq)
Retombées aux Gambier					
ALDEBARAN 02/07/66 -15h34 UT Mururoa	1h20 T+10h45 to T+12h05	Particles Rain	250 µGy/h	130 µGy/h (T+12h05)	$6 \cdot 10^7$ Bq/m ² (T+12h05)
PHOEBE 08/08/71 -18h30 UT Mururoa	5h00 T+6h10 à T+6h40 T+8h00 à T+12h30	Rain	55 µGy/h (T+6h30)	32 µGy/h (T+6h40)	$1,1 \cdot 10^6$ Bq/m ² (T+26h)
Retombées à Tureia					
ARCTURUS 02/07/67-17h30 TU Mururoa	3h00 T+8h30 à T+11h30	Particles Rain	30 µGy/h	16 µGy/h (T+11h30)	$3,3 \cdot 10^6$ Bq/m ² (T+24h)
ENCELADE 12/06/71 -19h15 TU Mururoa	14h T+10h à T+24h	Rain	55 µGy/h	20 µGy/h (T+24h)	$1,3 \cdot 10^7$ Bq/m ² (T+22h45)
Retombées à Tahiti					
CENTAURE 17/07/74 -17h UT Mururoa	20h30 T+43h30 à H+64h	Rain	3,9 µGy/h (T+54h)**		$2 \cdot 10^6$ Bq/m ²

* passage of the cloud

** End of the main fallout

Tableau T7-3 : / expositions maximales (officielles) liées aux retombées, sur les îles habitées de Polynésie Française (source : DIRCEN, doc 13).

	ALDEBARAN 02/07/66	ARCTURUS 02/07/67	ENCELADE 12/06/71	PHOEBE 08/08/71	CENTAURE 17/07/74
LOCATION	GAMBIER	TUREIA	TUREIA	GAMBIER	TAHITI (Mahina)
External exposition (Sv)	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Inhalation (Sv)	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-5}$
Ingestion (Sv)	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$
Total (Sv)	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$

Tableau 8: Annual maximum exposure expressed in effective dose equivalents

Conversion en millisieverts effectuées par la CRIIRAD

Total (mSv)	5,5 mSv	0,9 mSv	1,3 mSv	1,2 mSv	0,8 mSv
--------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

7.3 Nécessité de conduire une expertise des données dosimétriques officielles

Les données militaires disponibles sont très incomplètes et difficilement exploitables sur le plan scientifique dans la mesure, par exemple, où la contamination de l'air ou des denrées alimentaires est donnée en activité globale, sans préciser la contribution des divers radionucléides.

A partir de quelques exemples ciblés nous allons démontrer ci-dessous :

- Que les données officielles publiées par la DIRCEN en 1998 sont très incomplètes et cachent des informations importantes.
- Que les évaluations dosimétriques officielles, contrairement à ce qu'indique la DIRCEN dans le document N°13, sous-estiment fortement l'exposition réellement subie par les populations.
- Que les doses subies dépassent largement les normes sanitaires.

L'étude précise de l'exposition passée des populations de Polynésie nécessitera l'ouverture des archives militaires. Il n'est pas possible en effet d'effectuer des évaluations dosimétriques précises en l'absence d'un accès complet aux données classifiées.

Notre objectif est simplement de démontrer que les premières données disponibles justifient pleinement la mise en œuvre d'études spécifiques pour, d'une part, évaluer les doses réellement subies par les populations et d'autre part, déterminer l'impact sanitaire des essais sur les populations de Polynésie.

7.4 Des données officielles très partielles

Les évaluations dosimétriques publiées par la DIRCEN en 1998 ne prennent en considération (voir [tableau T7-2 et T7-3](#) ci-dessus) que 5 événements ponctuels pour lesquels les retombées sur des atolls ou îles habitées ont été selon la DIRCEN « *plus significatives* ».

Non prise en compte des retombées liées aux 41 essais atmosphériques

En réalité des retombées radioactives ont nécessairement eu lieu, après chacun des 41 essais nucléaires atmosphériques.

Les 5 situations de « retombées significatives » listées par la DIRCEN sont très incomplètes :

- Les documents secrets de 1966 et 1967 publiés dans la revue Damoclès montrent, par exemple, que pour l'année 1966, il n'y a pas eu de retombées qu'en juillet, ni uniquement à Mangareva. Les retombées de septembre 1966 à Mangareva et Tureia ont été très « significatives » (voir [tableau T7-8 pages](#) suivantes).
- Les retombées liées aux essais de 1968 ne sont pas prises en compte (5 essais, dont l'essai du 24 août 1968, mettant en jeu la bombe thermonucléaire Canopus de puissance supérieure à une Mégatonne). Or Bruno Barrillot précise²³ qu'au moins à 2 reprises, en 1968, la population fut enfermée dans l'abri de Rikitea pendant les tirs thermonucléaires (ceci est en cohérence d'ailleurs avec les dates relevées par la CRIIRAD sur les filtres à charbon actif des systèmes de décontamination de l'air trouvés près de l'abri en octobre 2005).

Non prise en compte des retombées sur toutes les îles ou atolls habités de Polynésie

Il est évident, par ailleurs, que les retombées n'ont pas concerné uniquement les 3 sites de Mangareva, Tureia et Tahiti apparaissant dans le bilan officiel de la DIRCEN puisque ces retombées ont été mesurées à des milliers de kilomètres de distance des sites d'essai par exemple en Nouvelle Zélande et au Chili.

Un bilan complet nécessiterait bien évidemment de prendre en compte toutes les retombées liées aux 41 essais et sur tous les sites habités de Polynésie Française.

²³ Bruno Barrillot, Les essais nucléaires français 1960-1996, Etudes du CDRPC, Février 1996, page 86.

7.5 Des retombées entraînant une forte exposition externe

Lorsque les masses d'air contaminées imputables aux essais nucléaires atteignent une zone habitée les populations subissent une exposition externe en 2 étapes.

- tout d'abord directement par les rayonnements bêta et gamma émis par les matières nucléaires résiduelles, les produits de fission et d'activation présents dans l'air ou les précipitations,
- puis, par les dépôts radioactifs induits sur les sols, la végétation, les toitures, etc....

La première étape dure de l'ordre de quelques heures, la seconde plusieurs semaines, voire plusieurs mois, en fonction de l'intensité des retombées et de la période physique des radionucléides.

Cette exposition externe est estimée à partir de la mesure du débit de dose ambiant exprimé en microSievert par heure.

A titre indicatif le niveau naturel du débit de dose, à 1 mètre du sol, est typiquement de l'ordre de 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ en métropole.

Pour l'année 1994 par exemple, le SMSRB (Service Mixte de Surveillance Radiologique et Biologique) estime²⁴ l'exposition externe annuelle cumulée à 297 μGy à Tureia (atoll) et 463 μGy à Tahiti (île volcanique), ce qui correspond respectivement à 0,03 $\mu\text{Sv/h}$ et 0,05 $\mu\text{Sv/h}$. Sur les atolls, compte tenu des très faibles teneurs en radionucléides naturels des sols coralliens, les débits de dose naturels d'origine tellurique sont nettement plus faibles que sur les îles volcaniques.

A partir des données publiées officiellement par la DIRCEN (doc N°13), et de celles contenues dans les archives militaires secrètes rendues publiques par la revue Damoclès, il est possible de procéder à un certain nombre de comparaisons par rapport à la radioactivité naturelle et / ou par rapport à l'impact en métropole des retombées consécutives à la catastrophe de Tchernobyl en 1986.

Ces comparaisons n'ont d'autre objet que d'aider les populations et leurs représentants à prendre conscience de la forte intensité des retombées atmosphériques liées aux essais, en particulier aux Gambier et à Tureia.

En ce qui concerne l'impact des retombées de Tchernobyl en mai 1986 sur le territoire Français, nous nous référons aux mesures effectuées par EDF autour de la centrale nucléaire du Bugey (département de l'Ain, région Rhône-Alpes), pendant le passage du « nuage » de Tchernobyl (débit de dose maximal de 0,34 $\mu\text{Sv/h}$, le 4 mai 1986).

Tableau T7-4 : / débit de dose maximal au Bugey (France métropolitaine) suite aux retombées de Tchernobyl et niveaux naturels de débit de dose en Polynésie

Débit de dose maximal au Bugey en France suite à l'accident de Tchernobyl (source : EDF)

Lieu	Le Bugey (France)
Date	4 mai 1986
Débit de dose maximal (unité originale)	0,34 $\mu\text{Gy/h}$
Débit de dose maximal (unité actuelle)	0,34 $\mu\text{Sv/h}$

Débit de dose naturel à Tureia (source : SMSRB 1994)

Reference SMSRB 1994 à Tureia (atoll corallien)	0,03 $\mu\text{Sv/h}$
---	-----------------------

Débit de dose naturel sur une île volcanique - Tahiti (source : SMSRB 1994)

Reference SMSRB 1994 à Tahiti (île volcanique)	0,05 $\mu\text{Sv/h}$
--	-----------------------

²⁴ Situation radiologique de la Polynésie Française / Année 1994 / SMSRB (DIRCEN et CEA), G. Martin

7.5.1 Retombées du 12 juin 1971 à Tureia

A partir des chiffres officiels publiés par la DIRCEN on peut établir, comme le montre le [tableau T7-5](#) ci-dessous, que les pluies accompagnant l'arrivée de masses d'air contaminées générées par le tir Encelade (effectué à Moruroa), a conduit, le **12 juin 1971** à un niveau de radiation à Tureia de 55 $\mu\text{Sv/h}$ soit une valeur :

- **1 800 fois** supérieure au niveau naturel à Tureia,
- **162 fois** supérieure au maximum enregistré par les capteurs de la centrale nucléaire du Bugey en métropole après le passage du « nuage » de Tchernobyl en mai 1986.

Tableau T7-5 : / débit de dose maximal à Tureia suite au tir Encelade du 12 juin 1971

Débit de dose maximal à Tureia suite au tir Encelade de juin 1971 (source : document officiel DIRCEN N°13)

Lieu	Tureia
Document	Doc 13 DIRCEN en Anglais
Date	12 juin 1971 de T+10H à T+24H
Origine de la radioactivité	Tir Encelade du 12 juin 1971 à Moruroa
Nature des retombées	pluie
Débit de dose maximal (unité originale)	55 $\mu\text{Gy/h}$
Débit de dose maximal (unité actuelle)	55 $\mu\text{Sv/h}$

Ecart 12 juin 1971 / Tchernobyl en métropole	162
Ecart 12 juin 1971 / niveau naturel à Tureia	1 833

7.5.2 Retombées du 2 juillet 1966 aux Gambier

A partir des chiffres officiels publiés par la DIRCEN on peut établir, comme le montre le [tableau T7-6](#) ci-dessous, que l'arrivée de pluies et masses d'air contaminées générées par le tir Aldebaran (effectué à Moruroa), a conduit, le 2 juillet 1966, à un niveau de radiation aux Gambier, de 250 $\mu\text{Sv/h}$, soit une valeur :

- **5 000 fois** supérieure au niveau naturel sur une île volcanique (référence Tahiti),
- **735 fois** supérieure au maximum enregistré par les capteurs de la centrale nucléaire du Bugey en métropole après le passage du « nuage » de Tchernobyl en mai 1986.

Tableau T7-6 : / débit de dose maximal « officiel » aux Gambier - tir Aldebaran de juillet 1966

Débit de dose maximal aux Gambier suite au tir Aldebaran (source : document officiel DIRCEN N°13)

Lieu	Gambier
Origine de la radioactivité	Tir Aldebaran du 2 juillet 1966 à Moruroa
Nature des retombées	particules, pluie

Débit de dose maximal pendant les retombées

Date	2 juillet 1966 de T+10H45 à T+12H05
Débit de dose maximal (unité originale)	250 $\mu\text{Gy/h}$
Débit de dose maximal (unité actuelle)	250 $\mu\text{Sv/h}$
Ecart Polynésie / Tchernobyl en métropole	735
Ecart 2 juillet 1966 / niveau naturel à Tahiti	5 000

Débit de dose maximal à la fin des retombées

Date	2 juillet 1966 à T+12H05
Débit de dose en fin de retombée (unité originale)	130 $\mu\text{Gy/h}$
Débit de dose en fin de retombée (unité actuelle)	130 $\mu\text{Sv/h}$
Ecart Polynésie / Tchernobyl en métropole	382
Ecart 2 juillet 1966 / niveau naturel à Tahiti	2 600

7.5.3 Sous estimation de l'exposition externe

Des valeurs officielles non conformes à la réalité

Les chiffres extraits des documents militaires secrets publiés par Damoclès, montrent que l'exposition externe aux Gambier après le tir Aldebaran a été en réalité plus de 2 fois supérieure à la valeur publiée officiellement par la DIRCEN.

Ces données sont reportées dans le [tableau T7-7](#) ci-après. L'exposition effectivement mesurée a été :

- **11 600 fois** supérieure au niveau naturel sur une île volcanique (référence Tahiti),
- **1 700 fois** supérieure au maximum enregistré par les capteurs de la centrale nucléaire du Bugey en métropole après le passage du « nuage » de Tchernobyl en mai 1986.

L'écart entre les données « officielles » publiées par la DIRCEN et les valeurs réellement mesurées à l'époque (rapports secrets) montre que le bilan officiel minimise fortement l'intensité réelle de l'exposition externe.

La DIRCEN note en outre : « *A partir de 1966 ces îles ont bénéficié d'abris (precautionary shelters) capables d'accueillir la population si nécessaire* ».

Les documents militaires publiés par Damoclès montrent qu'en réalité les habitants des Gambier n'ont reçu aucune information et aucune protection suite aux retombées de juillet 1966.

Ce décalage illustre une fois de plus le fait que le bilan officiel de la DIRCEN n'est pas conforme à la réalité et a systématiquement tendance à minimiser la gravité de la situation.

Tableau T7-7 : / débit de dose maximal aux Gambier (documents secrets) - tir Aldebaran de juillet 1966

Débit de dose maximal aux Gambier suite au tir Aldebaran (source : document secret)

Lieu	Mangareva (Gambier)
Document	Telex 2 juillet 1966 in Damoclès N°112-114
Date	2 juillet 1966 à 21H30
Débit de dose maximal (unité originale)	4 à 58 mRad/h
Débit de dose maximal (unité actuelle)	40 à 580 µSv/h
Ecart Polynésie / Tchernobyl en métropole	1706
Ecart 2 juillet 1966 / niveau naturel à Tahiti	11 600

Questionnement sur les calculs officiels de dose externe cumulée

Pour calculer les doses « externes » induites par les retombées, il est nécessaire de calculer l'exposition totale pendant toute la durée du phénomène.

Les données publiées par la DIRCEN ne permettent pas de procéder à une vérification des calculs officiels.

Par exemple dans le cas des retombées du 2 juillet 1966 aux Gambier, la DIRCEN ne donne que 3 résultats de mesures (dont 2 dans le [tableau T7-2](#) ci-dessus). :

- Le débit de dose maximal mesuré pendant le passage des masses d'air contaminées (250 µGy/h) le 2 juillet.
- Le débit de dose mesuré le 2 juillet à T+12H05 à la fin des retombées (130 µGy/h) ;
- Le débit de dose mesuré le 3 juillet à T+21H30, après de fortes pluies (55 µGy/h).

La DIRCEN estime à 3,4 milliSievert l'exposition externe cumulée sur l'année, aux Gambier, suite à cet essai.

A noter que cette valeur est plus de 300 fois supérieure au seuil du risque négligeable de 10 microSieverts par an (au sens de la Directive Euratom de mai 96) et plus de 3 fois supérieure à l'actuelle dose maximale annuelle admissible pour le public (1 milliSievert par an).

Note : L'estimation donnée par la DIRCEN est probablement très en dessous de la réalité.

Si de fortes pluies intervenues moins de 24 heures après la contamination initiale ont fait chuter fortement le niveau de radiation aux endroits où la DIRCEN le mesurait, c'est qu'une partie des radionucléides déposés à la surface du sol ont été lessivés et entraînés plus loin où ils ont pu se concentrer et conduire, sur des zones d'accumulation, à des niveaux de radiation beaucoup plus élevés (par exemple une tarodière située en aval de bassin versant).

Par ailleurs, aucune mesure n'est donnée du niveau de radiation à l'intérieur des habitations. Or les radionucléides présents dans les retombées initiales ont pu adhérer aux toitures traditionnelles (végétales) et n'ont pas forcément subi un lessivage aussi intense que les sols superficiels.

7.6 Des retombées entraînant une forte exposition interne

Préambule

Le fait que des éléments radioactifs soient présents dans l'air et les précipitations va entraîner une exposition interne des populations par inhalation (air, remise en suspension du sol) et par ingestion (eau de pluie, denrées végétales et animales, produits du milieu marin).

La quantification de ces doses, a posteriori, sort totalement du champ de la présente étude.

Nous ne pouvons ici que montrer, à partir de quelques exemples, que l'exposition effective, à l'issue de certaines retombées, a largement dépassé les normes sanitaires.

Nous prendrons comme exemple les doses liées à l'ingestion d'eau.

Doses officielles liées à l'ingestion d'eau suite aux retombées

Dans le document officiel N°13 déjà cité, la DIRCEN donne ses calculs des doses liées à l'ingestion d'eau, aux Gambier ou à Tureia, lors des retombées (dans le cas des retombées sur Tahiti, elle estime cet impact négligeable du fait que les eaux potables proviennent de sources).

Des calculs de dose sont faits par la DIRCEN pour 4 incidents.

Les valeurs les plus élevées sont :

- **0,14 milliSieverts** aux Gambier, suite à l'essai Aldebaran du 2 juillet 1966. L'activité maximale de l'eau étant selon la DIRCEN de 1 600 Bq/l (mélange de produits de fission) à J+6.
- **0,31 milliSieverts** à Tureia, suite à l'essai Encelade du 12 juin 1971. L'activité maximale de l'eau étant selon la DIRCEN de 42 000 Bq/l (mélange de produits de fission) à J+1.

Dans le cas des Gambier, ces activités correspondent aux mesures faites dans le réservoir de captage des eaux d'infiltration.

Dans le cas de Tureia, il s'agit de l'eau d'une citerne alimentée par les écoulements de toiture.

Les calculs de dose sont faits, par la DIRCEN, pour une consommation de 2 litres d'eau par jour en ne prenant en compte que les doses dues aux isotopes de l'iode.

Forte sous estimation de la radioactivité réelle des eaux consommées

Nous allons montrer que les habitants des Gambier et de Tureia ont reçu en réalité des doses beaucoup plus importantes durant la période des essais atmosphériques.

En effet, tous les habitants de l'atoll de Tureia, mais aussi certains habitants des Gambier (îlots comme celui de Taravai, habitants de Taku, qui ne sont pas raccordés au réseau communal de Mangareva) s'alimentent directement à partir des eaux de pluie.

Or, dans le cas des Gambier, les calculs conduits par la DIRCEN ne prennent pas en compte la consommation des eaux de pluie, mais seulement celle des captages des eaux d'infiltration qui sont nécessairement beaucoup moins contaminées.

Les documents secrets publiés par Damoclès et cités plus haut font état, en effet, de valeurs de contamination très importantes dans les précipitations, par exemple, suite au tir Rigel du 24 septembre 1966.

Les principaux résultats et calculs sont reportés dans le tableau T7-8 ci-après.

Tableau T7-8 : / radioactivité des précipitations à Mangareva et Tureia en septembre 1966

Radioactivité des eaux de pluie à Mangareva et Tureia le 26 septembre 1966

Date	26 septembre 1966
Document	SMSR 17 mars 1967 in Damoclès N°112-114
Origine de la radioactivité	Tir Rigel du 24 septembre 1966, retombée différée indirecte
Commentaire SMSR	"Nombreuses précipitations fortement radioactives sur l'est de la Polynésie"
Lieu	Mangareva
Activité mesurée SMSR	3 $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$
Activité mesurée SMSR	111 000 000 Bq/l
Lieu	Tureia
Activité mesurée SMSR	0,7 $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$
Activité mesurée SMSR	25 900 000 Bq/l

Comparaison avec la radioactivité maximale de l'eau de boisson (bilan de tous les essais) publiée officiellement (doc 13)

Activité maximale de l'eau des captages (mélange de produits de fission) aux Gambier à J+6 suite au tir Aldebaran du 2 juillet 1966 (Bq/l)	1 600 Bq/l
Activité maximale de l'eau de citerne (mélange de produits de fission) à Tureia à J+1 suite au tir Encelade du 12 juin 1971 (Bq/l)	42 000 Bq/l
Ecart pluie Mangareva 26 septembre 1966 / activité max. eau de captage Mangareva juillet 1966	69 000
Ecart pluie Tureia 26 septembre 1966 / activité max. eau de citerne Tureia juin 1971	600

Comparaison avec la radioactivité naturelle de l'eau de pluie

Bruit de fond naturel : activité bêta globale de l'eau de pluie prélevée par la CRIIRAD à Taravai (Gambier) en octobre 2005	0,13 Bq/l
Ecart Mangareva 26 septembre 1966 / bruit de fond naturel mesuré en 2005	850 millions de fois plus
Ecart Tureia 26 septembre 1966 / bruit de fond naturel mesuré en 2005	199 millions de fois plus

Plusieurs constatations peuvent être faites :

- L'activité des eaux de pluie a dépassé, aux Gambier et à Tureia, le 26 septembre 1966, respectivement 850 millions de fois et 199 millions de fois le niveau de radioactivité naturelle des précipitations (évalué à partir des mesures sur le prélèvement d'eau de pluie effectué à Taravai par la CRIIRAD en octobre 2005).
- L'activité des eaux de pluie aux Gambier, le 26 septembre 1966, a été 69 000 fois supérieure aux valeurs maximales, publiées par la DIRCEN, pour les eaux de captage des Gambier dans le cadre du bilan de tous les essais (essai du 2 juillet 1966).
- L'activité des eaux de pluie à Tureia, le 26 septembre 1966, a été 600 fois supérieure aux valeurs maximales, publiées par la DIRCEN, pour les eaux de citerne de Tureia (essai du 12 juin 1971).

Forte sous estimation des doses effectivement subies

Les résultats présentés ci-dessus montrent que les doses réellement subies par les habitants des Gambier et de Tureia - qui ont consommé des eaux de pluie après certains essais atmosphériques - ont été nettement plus élevées que les doses officielles publiées par la DIRCEN, puisque les activités volumiques des eaux de pluie sont nettement plus élevées que celles des eaux utilisées par la DIRCEN pour conduire ses calculs de dose.

A titre d'illustration, nous allons calculer ci-après, à partir des mesures d'activité globale mentionnées dans les documents secrets, les doses liées à l'ingestion de 2 litres d'eau de pluie, aux Gambier et à Tureia, le 26 septembre 1966.

La réalisation de calculs fiables nécessiterait une connaissance précise de l'activité des précipitations. Or les chiffres mentionnés dans les rapports secrets donnent une activité globale sans préciser de quels radionucléides il s'agit. Il est très probable que les mesures effectuées ne portent que sur les émetteurs bêta. Ceci signifie que les évaluations ci-dessous seront très sous-estimées car elles ne prennent en compte :

- ni les radionucléides émetteurs alpha présents dans les retombées (cf. mesures CRIIRAD révélant la présence d'américium 241, donc de plutonium, dans les sédiments prélevés en octobre 2005 au fond de l'ancienne citerne de collecte des eaux de pluie sur l'ancien site CEA de Tureia). Or les radionucléides émetteurs alpha sont nettement plus radiotoxiques que les émetteurs bêta (cf [tableau T7-1](#) pages précédentes),
- ni les radionucléides émetteurs bêta mous qui ne sont pas du tout (cas du tritium), ou très mal (cas du carbone 14), mesurés par les systèmes classiques de comptage de l'activité bêta globale. Or les mesures effectuées dans la section de tronc d'un cocotier, prélevé par la CRIIRAD à Mangareva en octobre 2005, montrent que ces radionucléides étaient présents dans les retombées.

A titre indicatif nous allons donc calculer ci-dessous les doses liées à la seule ingestion de produits de fission émetteurs bêta.

Nous allons supposer pour cela – par hypothèse - que les radionucléides prépondérants dans les précipitations étaient les sept radionucléides cités par la DIRCEN dans le document N°13 (traduction à partir de l'anglais effectuée par nos soins) :

« Les citernes peuvent être contaminées durant les retombées (pluie) ou après la fin des retombées par le transport des radionucléides déposés sur les toits durant les pluies intervenant après le passage du nuage. Les éléments solubles peuvent être ingérés : ^{131}I , ^{133}I , ^{132}Te , ^{132}I , ^{140}Ba , ^{140}La et ^{99}Mo ».

Nous avons présentés ces sept radionucléides, dans le [tableau T7-9](#) ci-dessous, classés par facteur de dose par ingestion croissant (il s'agit des facteurs de doses officiels pour un adulte). La notation E-3 signifie que le chiffre doit être divisé par 1 000 (3 zéros), la notation E-6 par 1 000 000 (6 zéros), etc...

Tableau T7-9 : / facteurs de dose par ingestion (adulte) pur les 7 radionucléides cités dans le rapport DIRCEN (doc 13) comme étant ingérés (eau) lors des retombées

Radionucléide	Origine principale	Période (a)	Emission X ou gamma (a)	Mode de désintégration (a)	Facteur de dose par ingestion Sv/Bq (b)
Iode 132	Fils Te 132	2,28 heures	oui > 100 %	bêta	2,90E-10
Molybdène 99	PF	2,75 jours	oui > 100 %	bêta	6,00E-10
Lanthane 140	PF, fils Ba 140	1,68 jours	oui > 100 %	bêta	2,00E-09
Baryum 140	PF	12,74 jours	oui > 50 %	bêta	2,60E-09
Tellure 132	PF	3,26 jours	oui > 100 %	bêta	3,80E-09
Iode 133	PF	20,8 heures	oui > 98 %	bêta	4,30E-09
Iode 131	PF	8,04 jours	oui > 100 %	bêta	2,20E-08

Légende

(a) Données issues de "Table of Radioactive Isotopes, Browne et Firestone, 1986".

(b) Arrêté du 1er septembre 2003

PF : Produit de Fission

On constate à la lecture du [tableau T7-9](#) ci-dessus, que, selon la contribution relative des 7 radionucléides à l'activité globale mesurée dans les précipitations, les doses peuvent fortement varier puisque le radionucléide le plus radiotoxique de la liste (l'iode 131) a une radiotoxicité 75 fois supérieure au moins radiotoxique (iode 132).

Afin de tenir compte de ces variations nous avons conduit trois calculs de dose (cf. [tableau T7-10](#) ci-dessous). Ces calculs correspondent à 3 hypothèses :

- H1, l'activité est due à 100 % au radionucléide le moins radiotoxique.
- H2, l'activité est due à 100 % au radionucléide le plus radiotoxique.
- H3, l'activité est la moyenne des 2 précédentes.

Les doses liées à l'ingestion de 2 litres d'eau de pluie, le 26 septembre 1966, sont respectivement de :

- 64 à 4 884 milliSieverts (moyenne 2 474 milliSieverts) à Mangareva.
- 15 à 1 140 milliSieverts (moyenne 577 milliSieverts) à Tureia.

Ces doses sont très largement au dessus des limites sanitaires et très nettement supérieures aux valeurs de 0,14 et 0,31 milliSieverts publiées par la DIRCEN pour, respectivement, l'ingestion d'eau de captage aux Gambier, suite à l'essai Aldebaran, et l'ingestion d'eau de citerne à Tureia, suite à l'essai Encelade.

L'écart est d'autant plus significatif que nos calculs ne portent que sur l'ingestion de 2 litres d'eau de pluie alors que les évaluations de la DIRCEN portent sur l'ingestion d'eau pendant toute la durée de la contamination consécutive à l'essai.

Note : dans le [tableau T7-10](#) ci-dessous, le calcul H4 correspond à la seule contribution de l'iode 131 en supposant que sa contribution aux mélanges de produits de fission dans les retombées du 26 septembre à Mangareva et Tureia est identique à la moyenne (0,014) des valeurs déduites des graphiques publiés par la DIRCEN (doc 13) pour les eaux de boisson de Rikitea (0,016 suite à l'essai Phoebe en août 1971) et les eaux de citerne de Tureia (0,012 suite à l'essai Encelade de juin 1971).

Avec ces hypothèses, l'ingestion de 2 litres d'eau de pluie, le 26 septembre 1966, conduirait pour la seule contribution de l'iode 131 à respectivement 16 milliSieverts (Tureia) et 68,4 milliSieverts (Mangareva).

Tableau T7-10 : / radioactivité des précipitations à Mangareva et Tureia en septembre 1966**Radioactivité des eaux de pluie à Mangareva et Tureia le 26 septembre 1966**

Date	26 septembre 1966
Document	SMSR 17 mars 1967 in Damocles N°112-114
Origine de la radioactivité	Tir Rigel du 24 septembre 1966, retombée différée indirecte
Lieu	Mangareva
Activité mesurée SMSR	111 000 000 Bq/l
Lieu	Tureia
Activité mesurée SMSR	25 900 000 Bq/l

H1 / Calcul de dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie si radionucléide à faible facteur de dose

Radionucléide pris en compte	Iode 132
Facteur de dose par ingestion pour un adulte (Sv/Bq)	2,90E-10
Dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie à Mangareva le 26 septembre 1966 (mSv)	64,4
Dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie à Tureia le 26 septembre 1966 (mSv)	15,0

H2 / Calcul de dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie si radionucléide à facteur de dose élevé

Radionucléide pris en compte	Iode 131
Facteur de dose par ingestion pour un adulte (Sv/Bq)	2,20E-08
Dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie à Mangareva le 26 septembre 1966 (mSv)	4 884
Dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie à Tureia le 26 septembre 1966 (mSv)	1 140

H3 / Calcul de dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie (moyenne H1 et H2)

Dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie à Mangareva le 26 septembre 1966 (mSv)	2 474
Dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie à Tureia le 26 septembre 1966 (mSv)	577

Estimation du pourcentage d'iode 131 par rapport aux autres produits de fission dans les retombées

Part de l'iode 131 à J+2 à Rikitea août 1971, retombées essai Phoebe	0,016
Part de l'iode 131 à J+2 à Tureia juin 1971, retombées essai Encelade	0,012
valeur moyenne	0,014

H4 / Calcul de dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie pour le seul iode 131

Radionucléide pris en compte	Iode 131
Facteur de dose par ingestion pour un adulte (Sv/Bq)	2,20E-08
Dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie à Mangareva le 26 septembre 1966 (mSv)	68,4
Dose par ingestion de 2 litres d'eau de pluie à Tureia le 26 septembre 1966 (mSv)	16,0

Remarques

Des démonstrations similaires pourraient être conduites également à propos des doses liées à l'inhalation d'air contaminé ou à l'ingestion de végétaux (salades par exemple).

La conduite d'estimations réalistes des doses globales subies par les populations de Polynésie pendant les essais atmosphériques nécessite la communication préalable de tous les rapports classés, notamment du SMSR et du SMCB.

L'interprétation de ces données nécessitera la mise en place d'un groupe de travail incluant des experts militaires et du CEA et des chercheurs indépendants.

A partir des exemples développés ci-dessus, il est possible d'affirmer cependant, dès à présent, que certains groupes de population de Polynésie française ont pu subir, pendant la période des essais, des doses annuelles de plusieurs dizaines de milliSieverts et très probablement, des doses annuelles de plusieurs centaines de milliSieverts, si l'on tient compte de toutes les voies d'exposition (externe, ingestion, inhalation), de tous les radionucléides présents dans les retombées (y compris émetteurs alpha, mais aussi tritium et carbone 14), et de toutes les classes d'âges (les facteurs de dose pour les enfants sont plus élevés que pour les adultes).

7.7 Nécessité d'étudier toutes les conséquences sanitaires passées et futures

La présente étude n'a évidemment pas pour prétention de se prononcer sur les conséquences sanitaires des essais nucléaires. De longues et complexes études devront être engagées pour apporter des réponses scientifiques à cette problématique.

Nous souhaitons simplement, dans ce chapitre, attirer l'attention de la Commission d'Enquête sur le fait que ces études devront être conduites sans a priori :

- ni en ce qui concerne **l'évaluation théorique quantitative du nombre de cancers** attendus, sur la base des modèles de risque officiels. Les doses subies par les populations de Polynésie, à l'époque des retombées atmosphériques (cf. paragraphe précédent) ont été très élevées, largement au dessus des limites sanitaires, et justifient pleinement des études épidémiologiques visant à quantifier les pathologies entraînées par ces irradiations et contaminations. Mais il faut garder à l'esprit que les **facteurs de risque** recommandés par les organismes officiels (CIPR) sont probablement très en dessous de la réalité. Ce point sera illustré au paragraphe [7.7.1 ci-après](#).
- ni en ce qui concerne la nature des pathologies qui pourraient avoir été, et être induites dans les décennies à venir, par l'exposition de la population aux retombées consécutives aux essais des années soixante et soixante-dix. Les **études épidémiologiques** à engager ne devront pas se cantonner à l'examen des seules pathologies de type cancer, mais bien **prendre en considération toutes les pathologies**. Cet aspect est illustré au paragraphe [7.7.2 ci-après](#).

7.7.1 Nécessité de réviser à la hausse les facteurs de risque concernant les effets des rayonnements ionisants

La Commission Internationale de Protection Radiologique reconnaît que toute dose de radiation augmente les risques sanitaires, et en particulier les risques de cancer.

Cependant, les facteurs de risque qui permettent de prédire le nombre de cancers, à partir des doses subies par un groupe de population exposée aux radiations sont, dans certains cas, nettement sous-estimés, en particulier lorsqu'il s'agit d'une exposition interne, chronique, à faible dose et / ou faible débit de dose.

Cela tient en particulier au fait que les facteurs de risque ont été établis à partir du suivi de la cohorte des survivants des explosions atomiques de Hiroshima et Nagasaki. Or ces populations ont été exposées majoritairement par irradiation externe, instantanée (flash de rayonnements gamma et de neutrons) et à forte dose. Les mécanismes physiques, chimiques et biologiques qui font que les rayonnements ionisants vont induire des pathologies sur les sujets exposés ne sont pas forcément identiques selon les modalités d'exposition.

Cette sous-estimation des facteurs de risque fait que les taux de cancer attendus suite à une exposition interne (en particulier) sont sous-estimés.

Pour illustrer ce problème, nous prendrons deux exemples concernant, d'une part, les retombées de Tchernobyl et d'autre part, l'impact des rejets de l'usine de retraitement de la Hague.

Exemple 1 : Epidémie de cancers de la thyroïde suite à la catastrophe de Tchernobyl

Suite à la catastrophe de Tchernobyl, certains groupes de population, et en particulier les jeunes enfants des régions les plus exposées aux retombées, ont reçu des doses de radiation très importantes à la thyroïde, principalement par inhalation et ingestion d'isotopes radioactifs de l'iode dont l'iode 131.

Lors du colloque organisé à Lyon, par la CRIIRAD et le Conseil Régional Rhône-Alpes, les 1 et 2 avril 2005, le docteur Keith Baverstock²⁵ a fait une présentation sur l'épidémie de cancers de la thyroïde en Biélorussie, suite à la catastrophe de Tchernobyl.

Ayant appris, lors d'une réunion à Munich en octobre 1991, que certains chercheurs constataient un excès de cancers de la thyroïde en Biélorussie, il a persuadé la Commission Européenne d'organiser une réunion d'experts sur ce sujet.

Il a fallu attendre ensuite le premier semestre 1992 pour qu'au nom de l'OMS, le docteur Baverstock se rende à Minsk accompagné d'autres experts. Il a alors découvert, dans un seul hôpital, onze enfants qui avaient été récemment opérés d'un cancer de la thyroïde.

Etant donné que l'incidence normale du cancer de la thyroïde chez l'enfant et d'environ 1 cas par an pour 2 millions d'enfants, il était étonnant que dans un pays de 10 millions d'habitants, il y ait autant de cas de cancer. Il a alors eu la certitude que l'épidémie de cancers de la thyroïde était bien réelle, 6 ans après la catastrophe. Il a ensuite participé à la publication de 2 lettres, en septembre 1992, dans la revue scientifique internationale Nature.

De nombreux experts ont alors exprimé leurs doutes quant à la réalité de ces excès de cancers. En effet les études effectuées en Suède, sur les patients traités à l'iode 131, n'indiquaient pas d'excès ultérieurs de cancer. A l'époque, bien qu'il soit radioactif, l'iode 131 était donc considéré comme non cancérigène.

La réalité de l'épidémie de cancers en Biélorussie ne sera reconnue par la communauté scientifique internationale qu'en 1998.

Le décalage entre cette réalité, et les conclusions des études suédoises antérieures, trouva son explication en 1995 quand des études sur l'augmentation du taux de cancer de la thyroïde après un examen aux rayons X furent conduites. Elles révélèrent que les enfants présentaient des facteurs de risque beaucoup plus élevés que les adultes (or l'étude suédoise initiale portait sur une cohorte de 30 000 adultes et moins de 2 000 enfants).

Ce témoignage illustre bien la difficulté de faire reconnaître, par certains experts officiels, la réalité des effets particulièrement néfastes des faibles doses de radiation sur les enfants. Même dans le cas d'une épidémie manifeste de cancers de la thyroïde chez les enfants, avec un excès massif du nombre de pathologies constatées, il aura fallu 6 ans pour que la réalité de l'épidémie soit reconnue officiellement, ainsi que son lien avec l'exposition aux radiations.

Exemple 2 : excès de leucémies à la Hague

L'usine de retraitement de la Hague située dans le Nord Cotentin est une des installations qui, à l'échelle mondiale, rejette le plus de radionucléides dans l'atmosphère et en mer²⁶.

Une étude publiée en 1997, dans une revue scientifique internationale, par le professeur Jean-françois Viel, a révélé un excès de leucémies, sur la période 1978 -1992, chez les jeunes enfants (0 à 24 ans) vivant dans le canton de Beaumont Hague, à proximité de l'usine.

Afin de déterminer si les rejets radioactifs des installations nucléaires du secteur pouvaient être responsables de ces pathologies le gouvernement a mis en place une commission d'experts, le Groupe Radioécologie Nord Cotentin (GRNC).

La CRIIRAD a participé à ces travaux et a dû finalement démissionner du groupe parce que, pour calculer le nombre théorique de leucémies induites par la contamination interne des enfants, les experts ont utilisé principalement les facteurs issus du suivi des survivants des explosions d'Hiroshima et Nagasaki.

²⁵ Le professeur Baverstock était à l'époque responsable du secteur Europe à l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Il est actuellement chercheur au Département des Sciences de l'Environnement de l'Université de Kuopio en Finlande.

²⁶ Contrôles radiologiques dans l'environnement des installations nucléaires de la Hague (usines de retraitement de la COGEMA et centre de stockage de l'ANDRA) / Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD pour GREENPEACE / Prélèvements : décembre 1994 à mai 1995 / Rapport de décembre 1995.

Nous reproduisons ci-dessous quelques extraits de l'argumentaire²⁷ de la CRIIRAD.

« L'essentiel de l'analyse critique effectuée par le Groupe a porté sur les paramètres de radioécologie (calcul des activités ingérées, inhalées et de l'irradiation externe), et de ce point de vue, la CRIIRAD a veillé dans la mesure des moyens disponibles à la cohérence de la démarche. Mais ni les facteurs permettant de passer des activités incorporées aux doses à la moelle, ni les facteurs de risque permettant de calculer le nombre de leucémies attendues en fonction de la dose à la moelle osseuse, n'ont fait l'objet d'une revue critique. La CRIIRAD avait pourtant demandé lors de la réunion plénière de mars 1999, que soit entreprise une revue critique de ces paramètres.

L'irradiation de la thyroïde par contamination interne à l'iode 131 est rendue responsable de l'excès de cancers de la thyroïde chez les jeunes enfants autour de Tchernobyl. L'analyse fine des mutations radioinduites et l'étude des facteurs de risque suggère que ce ne sont pas les mêmes mécanismes qui induisent une augmentation des cancers thyroïdiens chez ces enfants par rapport à ceux qui ont subi une irradiation externe gamma pour le traitement de pathologies non thyroïdiennes. Ceci montre la difficulté qu'il y a à transposer brutalement des facteurs de risque d'un contexte à un autre, même lorsqu'il s'agit du même type de population (enfants), et de la même pathologie (cancer de la thyroïde).

Or dans le cadre des travaux du Groupe on a utilisé des facteurs d'incidence de leucémie issus principalement des études réalisées sur les survivants des explosions atomiques d'Hiroshima et Nagasaki. Il n'existe aucune certitude quant à la justesse d'une transposition directe de ces coefficients au cas de la Hague :

- *On compare une irradiation externe à fort débit et une contamination externe et interne chronique.*
- *L'alimentation, les conditions de vie, l'histoire génétique, l'exposition à d'autres sources de pollutions ont très peu de rapport entre les survivants d'Hiroshima et Nagasaki qui vivaient au Japon dans les années 40 et les populations du Cotentin des années 60 à 90. Compte tenu de la complexité des mécanismes d'induction et de promotion du cancer, comment peut-on transposer sans recul les coefficients de risque ?*
- *Il est possible par ailleurs qu'à la Hague une synergie spécifique entre plusieurs types de polluants s'opère.*
- *Il est possible que le système immunitaire des enfants des années 60 à 90 soit moins performant que celui des enfants des années 40, survivants de surcroît à une explosion atomique (certains scientifiques ont fait remarquer que seuls les survivants d'Hiroshima les plus résistants ont survécu à l'explosion, il y a donc eu dès les premiers mois après l'explosion une sélection des sujets ayant le système immunitaire le plus performant.)*

Aucune de ces questions n'a été étudiée au sein du groupe de travail. Le Groupe le reconnaît dans le rapport de Synthèse, page 293 : « Les modèles de risque utilisés sont apparus comme les meilleurs actuellement disponibles dans le cadre d'une estimation de risque. Néanmoins, il faut noter que ces modèles (in utero et ex utero) ont été élaborés sur des populations essentiellement exposées à des expositions externes à faible transfert d'énergie linéique (TEL) et à des débits relativement élevés. Les estimations de risque effectuées reposent sur l'hypothèse que ces modèles sont également adaptés à des estimations du risque pour des rayonnements à haut TEL, à des doses et des débits de doses faibles, et pour toutes les voies et sources d'exposition ».

Dans les conclusions rendues publiques le 7 juillet 1999, existe une note de bas de page qui développe l'idée selon laquelle les facteurs de risque ne sont pas nécessairement adaptés ..., mais en suggérant l'existence d'un seuil. La CRIIRAD avait demandé instamment que cette note soit retirée ou qu'on la développe également dans le sens inverse d'un risque réel supérieur au coefficient retenu par la CIPR. Cette demande a été refusée. C'est véritablement une spécificité française que de vouloir réintroduire coûte que coûte l'idée de l'innocuité des faibles doses de rayonnement ».

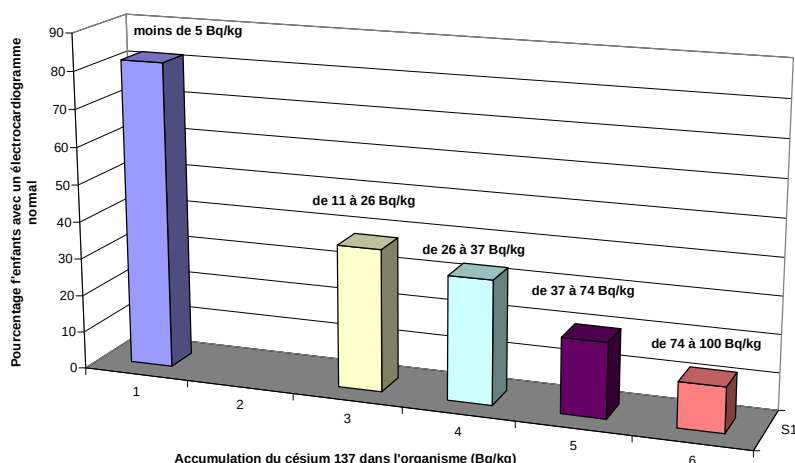
²⁷ CRIIRAD, B. Chareyron, note de synthèse 99-26 de novembre 1999 : « Bilan de la participation de la CRIIRAD aux travaux du Groupe Radioécologie Nord-Cotentin ». Note rédigée à la demande du Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire.

7.7.2 Nécessité de prendre en compte toutes les pathologies liées à l'exposition aux radiations à faible dose

Il nous semble utile de souligner ici que si les effets délétères des radiations en matière d'augmentation des pathologies cancéreuses et d'effets génétiques sont a priori reconnus par la Commission Internationale de Protection Radiologique, des travaux scientifiques de plus en plus nombreux²⁸ mettent en évidence qu'il existe –en particulier dans le cas d'une contamination interne à faible dose- des effets négatifs sur le système immunitaire, le système nerveux central, le développement du cerveau, le système digestif, le système respiratoire, le système cardio-vasculaire, etc..

Les travaux²⁹ du professeur Bandazhevsky en Biélorussie montrent, par exemple, que la détérioration des électrocardiogrammes de jeunes enfants est corrélée à l'intensité de leur contamination chronique interne, et à faible dose, par le césium 137 lié aux retombées de Tchernobyl. Ce type de découverte est susceptible de révolutionner les connaissances sur les effets d'une contamination interne chronique.

G5 / Proportion d'enfants biélorusses présentant un électrocardiogramme normal en fonction de leur contamination interne en césium 137 (Prof. Bandazhevsky).



D'une façon générale, de plus en plus de voix s'élèvent dans la communauté scientifique pour dénoncer à la fois :

- l'insuffisance des connaissances sur les effets délétères des radiations, en particulier à faibles doses et faibles débits de dose,
- la sous estimation manifeste, par les modèles officiels, des effets des faibles doses de radiations sur la santé, en particulier lorsqu'il s'agit d'une exposition par contamination interne à faible dose,
- la sous estimation manifeste, par les modèles officiels, des effets des faibles doses de radiations sur la santé, en particulier lorsqu'il s'agit d'une exposition de l'embryon et du fœtus et plus généralement des enfants en bas âge.

²⁸ Voir par exemple les travaux présentés au colloque International sur Tchernobyl qui s'est tenu à Kiev en juin 2001. Les actes ont été publiés dans l'International Journal of Radiation Medicine, Vol 4(1-4) 2002 et 5 (1-2) 2003, Kiev. Voir aussi les travaux présentés par les professeurs Lazjuk, Goncharova et Nesterenko, au Colloque International sur la Prévention des Risques – Contaminations radioactives et protection des populations. Les enseignements de Tchernobyl- organisé par la CRIIRAD et le Conseil Régional Rhône-Alpes, à Lyon, les 1 et 2 avril 2005.

²⁹ Voir par exemple : "Radioactive Caesium end heart-pathophysiological aspects", Yu.I. Bandazhevsky, Minsk 2001

Il n'est pas possible, dans le cadre de cette étude préliminaire, de dresser un bilan des connaissances actuelles et des incertitudes sur les effets des faibles doses de radiation en général et sur les effets des expositions aux retombées des essais nucléaires atmosphériques en particulier. Ces questions, très controversées, ont fait l'objet de nombreuses publications et ce, depuis plusieurs décennies déjà.

Parmi les ouvrages bien documentés et accessibles au grand public, nous recommandons « Secret Fallout³⁰ » de Ernest Sternglass et « The Petkau Effect³¹ » de Ralph Graeub.

Les 3 courbes reproduites ci-dessous sont extraites de l'ouvrage « *The Petkau Effect* ».

- La [courbe G6](#) illustre l'évolution de la mortalité par cancer chez les enfants japonais âgés de 5 à 9 ans (source : M. Segi et al. Japanese Cancer Society).
- La [courbe G7](#) illustre les résultats des tests scolaires oraux (Scholastic Aptitude Test, ou SAT) entre 1958 et 1982, aux Etats-Unis, en fonction des essais nucléaires effectués dans la période de l'année de naissance des candidats, 18 ans auparavant (source / Ernest J. Sternglass et College Board).
- La [courbe G8](#) illustre l'évolution de la mortalité des enfants de moins d'1 an, aux Etats-Unis, due à la pneumonie et à la grippe, entre les années 1940 et 1980, en regard des essais nucléaires réalisés (source : U.S. Vital Statistics, compilé par Ernest J. Sternglass).

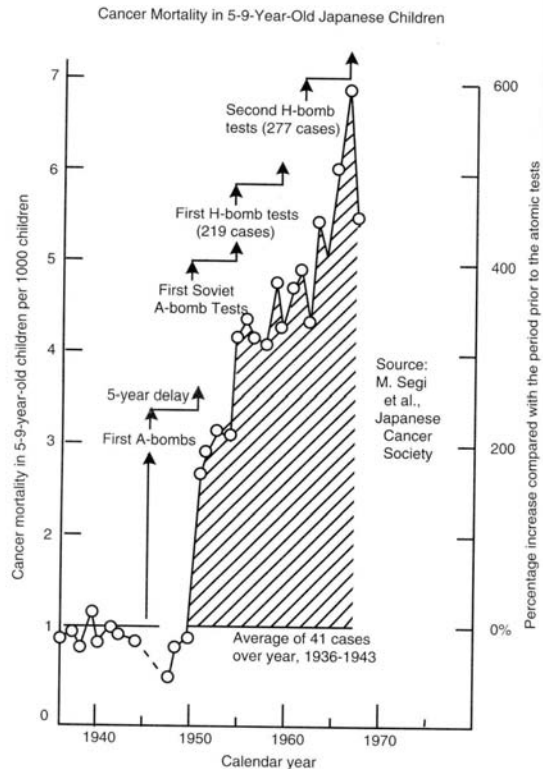
Ces exemples montrent qu'une évaluation rigoureuse de l'impact sanitaire des essais atmosphériques de 1966 à 1974 sur la santé des populations et des travailleurs exposés nécessitera la poursuite des études épidémiologiques portant bien sûr sur les pathologies cancéreuses, mais aussi sur l'ensemble des pathologies non cancéreuses susceptibles d'apparaître chez les personnes exposées et leur descendance, incluant les conséquences sur le système nerveux central, le développement du cerveau, le système digestif, le système respiratoire, le système cardio-vasculaire, etc..

Ces recherches épidémiologiques devraient être couplées avec des études biologiques spécifiques sur les personnes exposées (enregistrement des anomalies chromosomiques, dosimétrie biologique, etc..).

³⁰ Ernest J. Sternglass / Secret Fallout / Low-level radiation from Hiroshima to Three Mile Island / 1972 Ballantine Books et version augmentée de 1981, éditions McGraw-Hill Paperback.

³¹ Ralph Graeub / The Petkau Effect / The devastating Effect of Nuclear Radiation on Human Health and the Environment / Four Walls Eight Windows, New York, 1994.

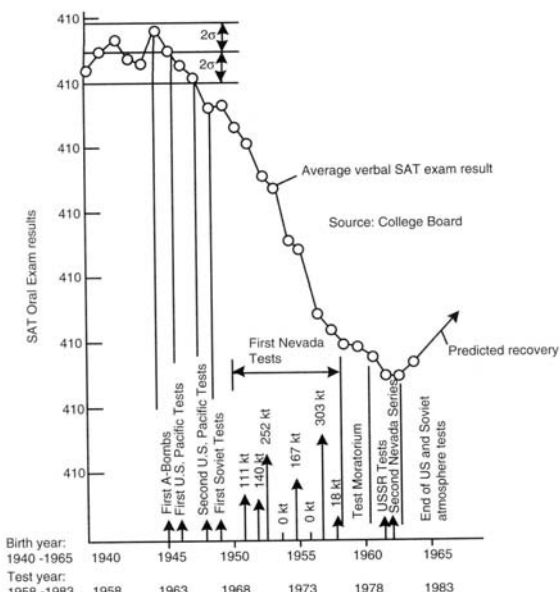
G6 / Mortalité par cancer chez les enfants japonais âgés de 5 à 9 ans



G7 (gauche) / Résultats des tests scolaires oraux pour les candidats âgés de 18 ans aux Etats-Unis en fonction de la date de naissance des candidats au moment des essais nucléaires

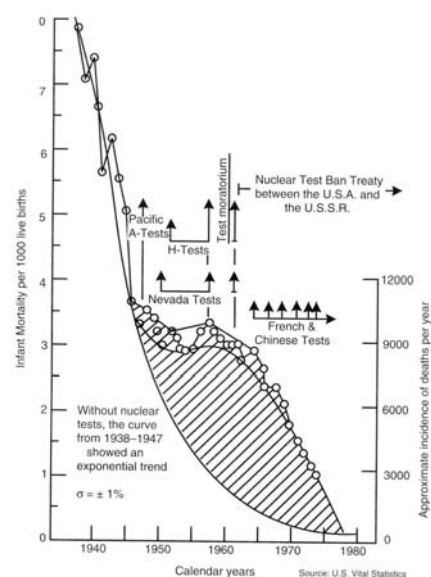
G8 (droite) / Mortalité des enfants de moins d'1 an aux Etats-Unis due à la pneumonie et à la grippe

Verbal SAT scores in the U.S. for the years 1958 through 1982, and their relationship to the nuclear weapons tests at the times of birth of the testees, 18 years earlier.



68

Infant Mortality in the U.S. Due to Pneumonia and Influenza (ages 0-1)



8 Synthèse détaillée de la mission d'octobre 2005

Objectifs de la mission

L'étude confiée au laboratoire de la CRIIRAD par la Commission d'Enquête avait 2 objectifs :

Objectif 1 : situation radiologique aux Gambier :

Il s'agissait principalement de vérifier par un échantillonnage ciblé **l'impact radiologique résiduel actuel** des retombées des essais nucléaires atmosphériques de 1966 à 1974 sur les **Gambier (Mangareva)**. De façon secondaire, il s'agissait en outre, à travers des prélèvements ciblés (filtres à air de l'époque, matériaux solides soumis aux précipitations, section du tronc d'arbres de l'époque) de tenter de recueillir des éléments qualitatifs, et si possible quantitatifs, sur l'impact radiologique passé (au moment des retombées). L'étude ne portait que sur l'environnement terrestre.

Objectif 2 : situation radiologique à HAO

Il s'agissait de vérifier à terre, sur l'atoll de Hao (base arrière du CEP), s'il persistait des risques radiologiques importants, en surface, à l'emplacement de certaines des installations militaires ou du CEA qui manipulaient des matières radioactives à l'époque des essais.

La Commission d'Enquête ayant réussi à obtenir du gouvernement de Polynésie la mise à disposition de l'avion ATR présidentiel, il a été possible de conduire en outre une très courte mission de repérage à Tureia, lors du transfert entre Mangareva et Hao.

Remarques préliminaires

Il est indispensable d'insister en préalable sur le fait que plus de 30 ans (voire près de 40 ans) après les essais nucléaires atmosphériques en Polynésie, la plus grande partie de la radioactivité liée aux retombées a disparu, tout d'abord du fait de la décroissance physique des corps radioactifs (désintégration des radionucléides).

La situation radiologique actuelle et la situation au moment des retombées sont donc totalement distinctes.

Seuls certains radionucléides à période longue (césium 137, strontium 90, carbone 14, isotopes du plutonium, américium 241, etc..) pourraient en effet être encore détectés de nos jours sur les sites soumis aux retombées atmosphériques.

Même pour ces radionucléides à période longue, des mécanismes naturels ont conduit à une redispersion et à une redilution de la contamination initiale liée aux retombées (par exemple, les pluies ont entraîné un enfouissement dans le sol et un transfert vers les lagons ou l'océan).

Il n'y a donc (et c'est heureux) que très peu de risques de trouver des anomalies radiologiques significatives sur les îles ou atolls soumis aux retombées distantes, à moins de situations très particulières concernant des points d'accumulation spécifique.

La situation des sites de tirs de Moruroa et Fangataufa est évidemment totalement différente, du fait des très fortes activités stockées dans certains sols de surface, sédiments des lagons et dans le sous-sol.

Caractère préliminaire de la mission

Il est important de rappeler que la mission CRIIRAD d'octobre 2005 en Polynésie est une mission préliminaire.

Il s'agissait de réaliser des contrôles radiométriques ciblés (mesure du niveau de rayonnement gamma ambiant) et quelques échantillonnages à Mangareva, Hao et Tureia, afin d'effectuer un premier constat et de proposer des recommandations à la Commission pour hiérarchiser les problématiques et orienter les recherches à venir.

Ce travail est par nature forcément très limité du fait :

- De la courte durée de la mission (5 jours à Mangareva, 2,5 jours à Hao, 3 heures à Tureia).
- Des contraintes sur le transport des échantillons sur place puis de Papeete en métropole. Ces contraintes ont fortement limité le nombre d'échantillons pouvant être prélevés et les quantités. Certaines analyses fines en laboratoire requièrent des volumes importants (plusieurs kilogrammes pour les solides, plusieurs dizaines de litres pour les liquides). Afin de limiter les volumes, pour certains échantillons de sols et remblais (en particulier à Hao), quelques centaines de grammes ont été collectés de manière à vérifier l'absence d'anomalie radiologique significative sans pour autant permettre des dosages très fins.
- Des contraintes de délai, le temps imparti entre la réalisation de la mission sur place et de la remise d'un rapport final étant de 3 mois.

Ces contraintes, et la volonté de maintenir le budget global à un niveau raisonnable, ont conduit à adopter une stratégie analytique ciblée.

Les analyses par spectrométrie gamma ont été effectuées sur presque tous les échantillons solides collectés. Ces analyses permettent en effet de détecter de nombreux radionucléides émetteurs gamma de période longue (plusieurs années) qui pourraient être en excès du fait des retombées atmosphériques (cobalt 60, antimoine 125, iode 129, césium 137, uranium 235, américium 241, etc.).

Les dosages spécifiques de radionucléides qui ne sont pas émetteurs gamma comme le tritium, le carbone 14, les isotopes émetteurs alpha du plutonium et le strontium 90, n'ont été effectués que sur certains échantillons, choisis en fonction de leur intérêt scientifique a priori et / ou des résultats des analyses par spectrométrie gamma. A la date de rédaction de ce rapport quelques analyses sont encore en cours et feront l'objet d'une note complémentaire.

Mangareva

Les analyses effectuées sur des carottages de sol, carottages de sédiments, eaux de pluie, eaux de sources et de forages distribuées par la commune et sur quelques échantillons de la chaîne alimentaire (eau et pulpe de coco, manioc et racines de tarua) n'ont pas mis en évidence de contamination significative.

Les activités en césium 137 dans les sols et sédiments analysés sont très faibles (quelques Bq/kg sec) et restent inférieures à 14 Bq/kg sec, y compris sur les points d'accumulation potentielle étudiés (sol de gouttage, sol de tarodièrre en aval de bassin versant, etc.).

En ce qui concerne l'eau et les végétaux, le seul point à signaler porte sur la détection de traces de césium 137 dans l'échantillon de manioc prélevé à Taku. Le niveau très faible mesuré (0,3 Bq/kg frais) ne nécessite pas de contre-mesure particulière.

La situation radiologique de l'environnement terrestre à Mangareva est donc a priori très satisfaisante.

Les mesures radiométriques effectuées en de nombreuses stations à Mangareva, et en particulier dans et autour du blockhaus à Taku et de l'abri pour la population à Rikitea n'ont révélé aucun excès de rayonnement gamma.

En ce qui concerne l'environnement terrestre, il serait souhaitable de confirmer ce diagnostic préliminaire par une campagne de mesure plus ambitieuse, portant sur la chaîne alimentaire (fruits et légumes) et la faune terrestre.

La question de la disparition des chevaux sur l'île de Mangareva, attribuée par certains habitants à la contamination induite à l'époque par les retombées liées aux essais nucléaires nécessiterait également un examen spécifique. Il n'a pas été possible dans le cadre de cette mission d'identifier des personnes susceptibles de retrouver des ossements de chevaux de l'époque, pour dosage du strontium 90.

Il conviendrait également de réaliser une étude radioécologique portant sur le milieu marin, au niveau du lagon et de l'océan. Ceci est d'autant plus important que les transferts de radionucléides dans ces îles aboutissent nécessairement dans le lagon.

Compte tenu des problèmes réels posés par la ciguatera, et de la confusion entre la contamination du poisson par les radionucléides d'une part, et l'intoxication alimentaire par la ciguatera d'autre part, une étude spécifique sur l'origine et le développement de cette intoxication est nécessaire. La réalisation d'une telle étude nécessite de réunir une équipe pluridisciplinaire (radio écologiste, océanologue, toxicologue, ichtyologue, etc....).

Les analyses effectuées par la CRIIRAD sur les systèmes de filtration de l'air de l'abri de Rikitea (portant la date de 1968) ont confirmé la présence de césium 137, mais aucune contamination mesurable par d'autres radionucléides émetteurs gamma à longue période et potentiellement présents dans les retombées (iode 129, américium 241, uranium 235). Ces résultats ne permettent pas une reconstruction qualitative de la composition des masses d'air contaminées. L'obtention d'archives militaires est indispensable pour évaluer l'impact dosimétrique des retombées sur la population.

L'analyse d'une section du tronc d'un cocotier de Rikitea, âgé de plus de 70 ans, montre un excès de tritium organiquement lié, dans les sections anciennes, et l'accumulation progressive de carbone 14. L'interprétation de ces résultats nécessite de réaliser un travail de recherche plus important (prélèvement sur d'autres îles du Pacifique et recherche d'espèces végétales anciennes présentant des cernes de croissance clairement identifiables, ce qui n'est pas le cas du cocotier). Il semble en effet difficile de dater les sections du tronc du cocotier, et de faire la part des retombées liées aux essais de 1966 à 1974, par rapport à celles des essais antérieurs effectués par d'autres puissances nucléaires.

La conduite des études complémentaires sur la situation radiologique actuelle, et la reconstitution des doses subies à l'époque des retombées par les habitants, nécessite que les autorités militaires donnent accès à l'ensemble de la documentation classifiée sur le déroulement des essais, les mesures de radioactivité faites à l'époque aux Gambier, le fonctionnement des installations militaires ou du CEA (gestion des effluents liquides et déchets solides, fonctionnement des dispositifs de filtration d'air du blockhaus et de l'abri pour la population, etc....).

Tureia

La mission n'a pu effectuer qu'un repérage très limité à Tureia.

Les contrôles radiométriques de dépistage effectués sur l'ancienne piste d'atterrissage des hélicoptères et sur les fondations de 4 bâtiments du secteur CEA n'ont révélé aucune anomalie.

Les contrôles radiométriques effectués dans et autour des deux anciens blockhaus, à proximité du village, n'ont mis en évidence aucune anomalie radiométrique grave. La détection d'un niveau de rayonnement gamma 3 à 4 fois supérieur au niveau naturel local, au contact d'une bande de gravier de quelques mètres de longueur, sur le flanc d'un des blockhaus, s'avère liée principalement à une teneur élevée en potassium 40 (1 000 Bq/kg), sans qu'aucun radionucléide artificiel émetteur gamma ne soit détecté. Le potassium 40 est présent naturellement dans l'écorce terrestre et les végétaux, mais l'origine de l'excès découvert près du blockhaus n'est pas clairement établie. Dans tous les cas, l'assainissement des blockhaus est souhaitable, tant sur le plan visuel (ferrailles, parois métalliques rouillées) que sanitaire (risques de se couper, risque lié à l'amiante des isolants).

L'emplacement des anciens secteurs militaires ou du CEA serait également à réhabiliter (restauration des sols).

La réalisation d'un bilan radioécologique de l'atoll de Tureia nécessite de lancer une étude spécifique qui devrait comporter en particulier des contrôles sur les sols, la faune et la flore terrestre et le milieu marin, en particulier le lagon.

Une étude spécifique sur le coco est nécessaire compte tenu de la part très importante jouée par la noix de coco dans l'alimentation locale et la production commerciale, et de la détection de traces de césium 137 dans l'eau de coco (0,6 Bq/kg).

La détection significative de césium 137 (54 Bq/kg sec) et d'américium 241 (11 Bq/kg sec) dans la boue, au fond de l'ancienne citerne de collecte des eaux pluviales d'un bâtiment CEA, démontre qu'il y a eu sur Tureia des retombées comportant du plutonium. Les faibles quantités qui ont pu être collectées ne permettent pas de lancer des dosages complémentaires. Une campagne spécifique de prélèvement dans cette citerne et des dosages plus fins sur ces boues est recommandée. A noter que l'inhalation ou l'ingestion de plutonium par les populations, pendant la période des essais atmosphériques, n'est pas prise en compte dans les bilans dosimétriques officiels publiés par la DIRCEN en 1998.

La conduite des études complémentaires, sur la situation radiologique actuelle, et sur la reconstitution des doses subies à l'époque des retombées par les habitants, nécessite que les autorités militaires donnent accès à l'ensemble de la documentation classifiée sur le déroulement des essais, les mesures de radioactivité faites à l'époque à Tureia, le fonctionnement des installations militaires ou du CEA (gestion des effluents liquides et déchets solides, fonctionnement des dispositifs de filtration d'air des blockhaus, etc....).

Hao

Les mesures radiométriques préliminaires effectuées à Hao, en surface, sur une sélection de sites potentiellement à risque, au niveau de l'ancien site CEA (emplacements de l'ancien Centre Technique de Décontamination, de l'ancien site d'atterrissage des hélicoptères, du bâtiment radiochimie, du B3, etc.) et au niveau de l'ancien secteur de décontamination des avions (à l'extrémité de la piste d'aviation), n'ont révélé aucun excès de rayonnement gamma significatif.

Les faibles anomalies radiométriques repérées au bord de l'océan, d'une part dans les gravats au droit de l'ancienne zone de décontamination des avions, et d'autre part au droit de la centrale à béton, sont liées à des teneurs en radionucléides naturels (descendants de l'uranium 238 et du thorium 232 et potassium 40) plus élevées que le sol corallien d'origine.

Ces constats très positifs doivent être pondérés par le fait que, compte tenu de la dimension des sites et de leur état, il n'a pas été possible de réaliser des contrôles de toutes les ruines des anciens bâtiments et des centaines de milliers de mètres cubes de gravats et ferrailles présents à l'emplacement des anciens bâtiments ou à proximité.

En effet, des monticules de gravats et de ferrailles de plusieurs centaines de mètres de long bordent l'océan au droit de l'ancienne aire de décontamination des avions et à l'extrémité du transit maritime près de la passe.

Le travail de vérifications radiologiques devra être poursuivi afin de garantir aux propriétaires des terrains que le CEP a bien évacué toutes les matières radioactives.

Il sera nécessaire pour cela :

- de disposer de documents d'archives détaillés (plans des bâtiments et réseaux) et d'un dossier d'abandon complet précisant pour chaque site, l'état des lieux radiologique avant et après travaux, le devenir des matériaux enlevés, les dispositifs de gestion des effluents liquides et solides, les critères de décontamination, etc....
- de prévoir une mission de plusieurs semaines avec des équipements lourds (BRH-Brise Roche Hydraulique, pelleteuses) afin d'effectuer des sondages complets autour des bâtiments du secteur CEA pour vérifier qu'il n'existe pas de fosses ou de canalisations enterrées susceptibles d'être contaminées.

Il serait souhaitable que soit lancé un vaste programme de réhabilitation de l'atoll en couplant la valorisation et le tri des gravats (ferrailles, bétons, inox, batteries, filtres à huile, récupération des huiles des moteurs, etc....) avec la vérification de non contamination radiologique.

9 Principales conclusions et recommandations

9.1 Améliorer les connaissances sur la situation radiologique actuelle

Les prélèvements effectués en octobre 2005 par la CRIIRAD, dans le domaine terrestre, sur Mangareva, Tureia et Hao, n'ont pas révélé d'anomalies radiologiques qui mettraient aujourd'hui en danger la santé publique. Ces résultats montrent une situation radiologique très satisfaisante, avec le plus souvent, des niveaux très bas de radioactivité naturelle (en particulier sur les sols coralliens) et une faible contamination résiduelle en césium 137. Ces constats préliminaires permettront de rassurer les populations qui vivent sur ces îles et atolls.

Néanmoins, les résultats des prélèvements effectués mettent en évidence que les essais atmosphériques ont laissé des traces de radioéléments issus des explosions nucléaires aériennes dans certains échantillons prélevés de sols, sédiments ou végétaux.

L'établissement d'un état des lieux radiologique approfondi nécessiterait la réalisation d'analyses complémentaires sur la faune, la flore et la chaîne alimentaire correspondant aux **milieux terrestres et aquatique**. La question de la ciguatera devra faire l'objet d'études spécifiques.

S'agissant de vérifier la radioactivité résiduelle à proximité des **anciennes installations à risque** situées sur les atolls de Tureia et surtout de Hao, la durée limitée de la mission initiale CRIIRAD et l'ampleur de la dimension des sites à vérifier rendent indispensable l'organisation d'une mission de plus longue durée avec des moyens techniques conséquents.

Il s'agit en effet de vérifier en particulier qu'il ne subsiste pas de déchets radioactifs enterrés (anciennes tuyauteries contaminées, fosses, gravats). Le lancement d'un vaste programme de réhabilitation des anciens secteurs militaires ou du CEA, comportant le tri et l'évacuation des ferrailles et gravats, pourrait être utilement couplé à un programme de contrôle radiologique.

Il est indispensable, pour préparer ce type de programme, que les autorités compétentes transmettent les dossiers d'abandon des installations à risque comportant les plans des anciennes installations et des différents réseaux enterrés, les descriptifs des moyens de traitement et d'élimination des déchets radioactifs solides et liquides (lors du fonctionnement des installations et également lors de leur démantèlement), les seuils de décontamination, etc..

9.2 Recommandations concernant le suivi de l'impact sanitaire des essais

Des comparaisons effectuées avec les rares données militaires officielles sur les retombées de 1966 à 1974 font apparaître une irradiation importante liée au passage de masses d'air contaminées suite à certains essais atmosphériques. Le 2 juillet 1966, le niveau de radiation aux Gambier était plus de 1 000 fois supérieur à celui relevé, en France métropolitaine, après le passage du nuage de Tchernobyl (et plus de 100 fois supérieur, le 12 juin 1971, à Tureia).

Le dépôt au sol des radionucléides contenus dans l'air a entraîné, à l'époque des essais, une contamination très importante des eaux, des sols et des denrées alimentaires.

- L'activité des eaux de pluie a dépassé, aux Gambier et à Tureia, le 26 septembre 1966, respectivement 850 millions de fois et 199 millions de fois le niveau de radioactivité naturelle des précipitations.
- L'activité des eaux de pluie aux Gambier, le 26 septembre 1966, a été 69 000 fois supérieure aux valeurs maximales publiées par la DIRCEN pour les eaux de captage des Gambier (essai du 2 juillet 1966).
- L'activité des eaux de pluie à Tureia, le 26 septembre 1966, a été 600 fois supérieure aux valeurs maximales publiées par la DIRCEN pour les eaux de citerne de Tureia (essai du 12 juin 1971).

Les évaluations de doses conduites par la CRIIRAD, à partir des rares documents classés rendus publics par la revue *Damoclès*, montrent que certaines retombées ont pu conduire à une irradiation externe et interne des populations conduisant à des risques sanitaires non négligeables et dans certains cas inacceptables, au sens des normes de radioprotection internationales (plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de milliSieverts par an).

Ces évaluations montrent que les bilans officiels publiés par la DIRCEN en 1998 (quelques milliSieverts par an au maximum) sous-estiment fortement l'impact radiologique des retombées sur la population. Il convient de souligner que les évaluations de doses conduites par la DIRCEN ne prennent pas en compte toutes les retombées, ne tiennent pas compte de la radiosensibilité très élevée des enfants, négligent certains radionucléides comme les isotopes du plutonium, le tritium et le carbone 14 - pourtant présents dans les retombées comme le montrent certains des résultats de la campagne de mesure CRIIRAD (boue de citerne à Tureia et tranche du tronc d'un cocotier à Rikitea). Ces évaluations officielles ne tiennent pas compte par ailleurs des modes de vie réels des populations (ingestion directe des eaux de pluie par exemple).

La plus grande part de cette irradiation externe et de cette contamination interne a été induite par des radionucléides de relativement courte période. Trente à quarante ans après les retombées, ces radionucléides à courte période ont totalement disparu. Une partie des effets sanitaires induits sur les populations exposées à l'époque, ou sur leurs descendants, a déjà pu se manifester, d'autres pathologies sont à venir.

L'évolution des connaissances sur les effets sanitaires des faibles doses de radiation, en particulier lors de contaminations internes (inhalation et ingestion), montre que les cancers ne sont pas les seules pathologies à craindre, il faut y ajouter des conséquences négatives sur le système immunitaire, le système cardio-vasculaire, le système nerveux ou le système digestif, etc....

L'évaluation de l'impact des essais atmosphériques de 1966 à 1974 sur la santé des populations et des travailleurs exposés nécessitera :

1 / la communication des rapports militaires, notamment du SMSR et du SMCB, de la période des essais atmosphériques. Ceci afin d'effectuer des évaluations dosimétriques les plus précises possibles. L'interprétation de ces données nécessitera la mise en place d'un groupe de travail incluant des experts militaires et du CEA et des chercheurs indépendants,

2 / la poursuite des études épidémiologiques portant sur les pathologies cancéreuses, mais aussi sur l'ensemble des pathologies non cancéreuses susceptibles d'apparaître chez les personnes exposées et leur descendance,

3 / le lancement d'études biologiques spécifiques sur les personnes exposées (enregistrement des anomalies chromosomiques, dosimétrie biologique, etc..).

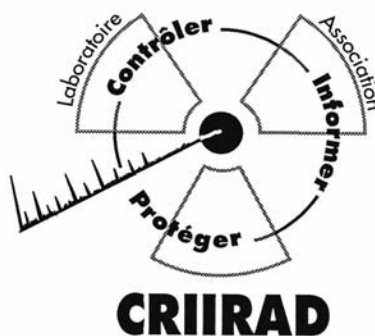
Il serait utile, à ce sujet, que soit mis en œuvre un comité de pilotage regroupant des spécialistes de l'ensemble des disciplines concernées ainsi que des représentants des populations, anciens travailleurs et élus.

9.3 Recommandations spécifiques concernant Moruroa et Fangataufa

La mission confiée à la CRIIRAD par la Commission d'Enquête ne portait pas sur la situation radiologique des atolls de Moruroa et Fangataufa.

Nous renvoyons, sur cette question, au rapport de la CRIIRAD « *Etat radiologique des atolls* » joint aux actes du Colloque³² du 20 février 1999 : « *Essais nucléaires français en Polynésie : exigence de vérité et propositions pour l'avenir* » et à la lettre adressée par la CRIIRAD au Président de la République Française et au Premier Ministre le 4 mars 1999 (reproduite en [Annexe 4](#)).

³² : « Essais nucléaires français en Polynésie : exigence de vérité et propositions pour l'avenir » / Actes du colloque du 20 février 1999 sous la direction de Marie-Hélène Aubert, députée et Michèle Rivasi, députée : Centre de Documentation et de Recherche sur la Paix et Les Conflits (avril 1999) / Rapport : « L'état radiologique des atolls / Corinne Castanier, directrice de la CRIIRAD, pages 95 à 134.



Annexes au Rapport
N° 05-49 V2

**COMPTE RENDU DE LA MISSION PRELIMINAIRE
DE CONTROLES RADIOLOGIQUES
SUR L'ILE DE MANGAREVA ET LES ATOLLS DE
TUREIA ET HAO (POLYNESIE FRANÇAISE)**

**Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD à la demande de la
Commission d'Enquête sur les conséquences des essais nucléaires
aériens**

Date de la mission : 2 au 16 octobre 2005
Date de rédaction : décembre 2005 – janvier 2006

Responsable d'étude : Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire
Responsable prélèvements : Christian COURBON, technicien spécialisé
Conditionnement des échantillons : Jocelyne RIBOUET, assistante laboratoire
Analyse des échantillons : Stéphane PATRIGEON, technicien mesures

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD
471, Avenue Victor Hugo, 26000 Valence
☎ 04 75 41 82 50 📠 04 75 81 26 48
<http://www.criirad.org> contact@criirad.org

LISTE DES ANNEXES

<u>1</u>	<u>ANNEXE 1 A / PROTOCOLES D'ANALYSE MIS EN ŒUVRE PAR LE LABORATOIRE DE LA CRIIRAD</u>	<u>2</u>
1.1	PROTOCOLE D'ANALYSE PAR SPECTROMETRIE GAMMA	2
1.2	PROTOCOLE DE DOSAGE DU TRITIUM DANS L'EAU PAR SCINTILLATION LIQUIDE	9
<u>2</u>	<u>ANNEXE 2 : CHAINES DE DESINTREGATION RADIOACTIVE DES TROIS FAMILLES DE RADIOELEMENTS NATURELS</u>	<u>11</u>
<u>3</u>	<u>ANNEXE 3 : RESULTATS D'ANALYSES DETAILLES :</u>	<u>15</u>
3.1	CAROTTAGE TC1 À MANGAREVA (TAKU)	15
3.2	CAROTTAGE TC2 AUX GAMBIER (TARAVAI)	16
3.3	CAROTTAGE TC3 A MANGAREVA (RIKITEA)	17
3.4	SEDIMENT S1 ET CAROTTAGE DE SEDIMENTS SD1 A MANGAREVA (TAKU)	18
3.5	CAROTTAGE DE SEDIMENTS SD2 AUX GAMBIER (TARAVAI)	19
3.6	CAROTTAGE DE SEDIMENTS SD3 A MANGAREVA (GATAVAKE)	20
3.7	SOLS ET MATERIAUX PRELEVES A TARAVAI ET RIKITEA (MANGAREVA)	21
3.8	SOLS ET MATERIAUX PRELEVES A TAKU (MANGAREVA)	22
<u>4</u>	<u>ANNEXE 4 : COPIE DE LA LETTRE ADRESSEE PAR LA CRIIRAD AU PRESIDENT DE LA REPUBLIQUE FRANÇAISE A PROPOS DE LA SITUATION RADIOLOGIQUE DES ATOLLS DE MORUROA ET FANGATAUFA</u>	<u>23</u>

1 ANNEXE 1 A / Protocoles d'analyse mis en œuvre par le laboratoire de la CRIIRAD

1.1 Protocole d'analyse par spectrométrie gamma

Méthode de comptage (spectrométrie gamma HpGe)

La méthodologie générale utilisée par le laboratoire de la CRIIRAD (spectrométrie gamma HpGe) pour le dosage de radionucléides émetteurs gamma de basse, moyenne et haute énergie est commune aux différentes matrices (eau, sols-sédiments, végétaux-chaîne alimentaire, filtres à aérosols, cartouches à charbon actif).

Les différences liées aux matrices et radionucléides à doser portent essentiellement sur le mode de préparation des échantillons, le choix du conditionnement pour analyse, le délai entre conditionnement et analyse (voir « méthode de traitement des échantillons » ci-après) et le choix de la courbe d'étalonnage (cf section consacrée aux étalons de radioactivité ci-après).

Le recueil « *Normes et Réglementation Environnement / Mesure de la Radioactivité dans l'environnement* » édité par l'AFNOR (Mise à jour du 1 Sept 2004) ne présente pas de norme spécifique pour la spectrométrie gamma appliquée aux eaux et bioindicateurs.

De nombreux aspects de la méthodologie utilisée pour pratiquer les analyses par spectrométrie gamma sur les matrices eau et végétaux sont cependant traités dans la norme :

NF M 60-790-6 / Mesure de l'activité des émetteurs gamma dans les échantillons de sol.

Les pratiques mises en œuvre par le laboratoire de la CRIIRAD sont conformes à cette norme. Quelques précisions techniques sont apportées ci-dessous :

Calibration en énergie : effectuée dès qu'une dérive sensible est observée (0,5 keV). Elle est réalisée en 3 points au moyen des raies du plomb 210 (46,5 keV), bismuth 214 (609,3 keV) et potassium 40 (1 460,8 keV) disponibles sur la majorité des comptages et si nécessaire au moyen d'un échantillon de résidu d'extraction d'uranium (UTS4).

Tabulation des raies d'énergie : chaque raie du spectre est identifiée à partir de deux documents de référence :

- la table des isotopes radioactifs de Browne et Firestone (1986).
- le "catalog of gamma rays from radioactive decay" de U. Reus et W. Westmeier (1983).

Les raies d'énergie utilisées sont indiquées ci-après (document T1) pour les principaux radionucléides artificiels et naturels.

Étalonnage en efficacité : voir paragraphe spécifique à la section « étalons » ci-dessous.

Temps de comptage : il varie dans une fourchette comprise entre 1 800 secondes (dosage du radon 222 dissous dans l'eau) et 300 000 secondes (comptages les plus longs pratiqués sur certains filtres et concentrés).

Géométries de conditionnement : cf. ci-dessous (méthodes de traitement des échantillons et étalons).

Formule générale de détermination de l'activité

$$Activité = \frac{S}{T * E * M * FC}$$

S = Surface nette du pic Photoélectrique (moins le cas échéant surface nette du pic photoélectrique du bruit de fond lors d'un comptage à blanc), en coups,

T = durée du comptage en secondes,

E = Efficacité de détection à l'énergie donnée fois rapport de branchement (efficacité globale),

M= Masse ou Volume de l'échantillon,

FC = facteur correctif lié à la matrice ou à l'utilisation d'un étalon spécifique plus proche de l'échantillon.

Formule de détermination de l'incertitude

L'incertitude relative est égale à $A1 + \sqrt{(A2)^2 + (A3)^2}$. Les termes pris en compte sont :

1 / A1 : Une incertitude systématique de 10 % intégrant les incertitudes sur : courbe d'étalonnage, rapports de branchement, pesée, facteur correctif FC.

2 / A2 : L'incertitude sur le pic photoélectrique : $1,96 * \sqrt{(2 * B - N)}$ où B= surface brute et N = surface Nette (intervalle de confiance de 95 %).

3 / A3 : L'incertitude sur l'évaluation du bruit de fond (dans le cas des radionucléides naturels pour lesquels il existe un pic photoélectrique lors des comptages à blanc¹). Cette incertitude est évaluée à partir de l'étude statistique d'une série de n comptages à blanc. Elle est prise égale à 2 fois l'écart type de la distribution des n comptages à blanc. Un comptage à blanc est effectué chaque mois afin de vérifier qu'il n'y a pas de dérive. Ces vérifications ont permis de s'assurer à ce jour que la surface des pics photoélectriques des radionucléides naturels visibles dans le comptage à blanc est constante (aux marges d'incertitude près).

Il convient de noter que cette méthode de calcul des incertitudes ne suit pas la méthode proposée dans la norme NF M 60-790-6. Cette dernière ne prend en compte en effet, ni l'incertitude sur le nombre d'impulsions N, ni la contribution du signal obtenu sur le blanc. L'expérience et les tests effectués en interne montrent que la méthode retenue par la CRIIRAD est a priori plus « prudente » et rend en tout cas mieux compte des incertitudes réelles obtenues, pour les radionucléides naturels, lorsque les activités sont très faibles.

Les calculs d'activité et d'incertitude sont effectués sur tableur EXCEL (CALSPEC) et le rapport d'essai a une forme standard reproduite ci-après (document T2).

Tous les radionucléides émetteurs gamma sont systématiquement recherchés dans le spectre de l'échantillon. Si leur activité n'est pas mesurable, c'est la limite de détection de la mesure qui est mentionnée.

Méthode de traitement des échantillons

Les procédures et modes opératoires concernant le traitement des échantillons avant analyse sont regroupés dans un classeur disponible en salle de préparation. Elles peuvent être communiquées sur demande.

La procédure appliquée à chaque échantillon est discutée avec le responsable du laboratoire afin de tenir compte des cas particuliers.

Les éléments généraux les plus significatifs des méthodologies pratiquées sont résumés ci-après :

- Eaux / radionucléides à période courte ou volatils (sauf radon 222) : analyse sans délai du liquide brut en géométrie Marinelli (0,56 litres), durée typique du comptage : 30 000 secondes (sauf si dosage du Tc 99^m, ou radionucléides à période très courte, temps plus court).
- Eaux / radon 222 dissous : analyse sans délai (moins de 5 minutes) du liquide brut en géométrie Marinelli (0,56 litres), durée du comptage : 1 800 secondes.
- Eaux / autres radionucléides-fraction insoluble : Filtration sans délai, à 8 microns ou 0,45 microns (selon le type d'étude), de 5 à 10 litres de liquide brut, acidification et conditionnement du filtre en géométrie boîte de Petri.

¹ En outre, le ratio entre la surface nette du pic photoélectrique sur comptage à blanc d'une part et comptage de l'échantillon d'autre part, est calculée systématiquement. Lorsque ce ratio excède 50 %, une réflexion spécifique est conduite par le responsable du laboratoire afin de déterminer si est publiée l'activité calculée selon la formule ci-dessus ou une limite de détection égale à la somme de l'activité et de son incertitude.

- Eaux / autres radionucléides-fraction soluble : Concentration de 5 à 10 litres de filtrat sur plaque à une température inférieure à 78 °C et conditionnement en géométrie Marinelli (0,56 litres).
- Sols, boues et sédiments : Elimination du liquide surnageant (cas des sédiments), tri manuel le cas échéant, tamisage à 2 mm, homogénéisation, analyse sur matière fraîche et sans délai lorsque des radionucléides à période courte ou volatils sont à doser, sinon dessiccation en étuve à 90 °C, échantillon aliquote conditionné en pot Marinelli de 560 cc ou boîte de Petri 66 cc (selon densité et objectifs métrologiques, cf section « étalons » ci-dessous).
- Végétaux, bioindicateurs aquatiques ou atmosphériques, chaîne alimentaire : identification des espèces, tri manuel, homogénéisation, analyse sur matière fraîche et sans délai lorsque des radionucléides à période courte ou volatils sont à doser ; dans le cas contraire, dessiccation en étuve, homogénéisation, échantillon aliquote conditionné en pot Marinelli de 560 cc ou boîte de Petri 66 cc (selon quantité disponible).
- Filtres aérosols : conditionnement dans une géométrie de comptage adaptée au volume, par exemple en pot 250 cc (filtre mensuel enroulé en cylindre) et analyse dans les meilleurs délais.

Dans tous les cas listés ci-dessus (sauf analyses dites « sans délai »), les analyses sont pratiquées après au moins 21 jours lorsque les radionucléides des chaînes de l'uranium 238 et du thorium 232 sont dosés. Ceci permet de garantir le retour à l'équilibre permettant de doser le radium 226 sur ses descendants plomb et bismuth 214 et le radium 228 sur son descendant actinium 228.

Remarques concernant la radioprotection

Dans un souci de radioprotection et de qualité des mesures, toutes les précautions sont prises pour limiter les risques de contamination. S'agissant des éléments des procédures en relation avec la métrologie (empêcher une inter contamination entre échantillons) on peut retenir que :

- Les échantillons sont introduits en salle de préparation dans des containers, sachets ou caisses non souillés.
- Les échantillons adressés au laboratoire par une tierce personne (en général des particuliers) sont reconditionnés sans délai sur la paillasse dédiée.
- Lors de l'enregistrement des échantillons, le niveau de rayonnement gamma est mesuré systématiquement afin d'adapter les conditions d'entreposage et de traitement.
- Aucun échantillon présentant un niveau de rayonnement supérieur à 3 fois le bruit de fond (0,3 µSv/h) ne peut stationner en salle de préparation en dehors du temps strictement limité à son traitement.
- Les échantillons ne sont sortis de leur conditionnement initial que sur la paillasse dédiée (sous hotte ventilée).
- La paillasse où sont traités les échantillons est systématiquement nettoyée au TFD4 entre chaque préparation.
- Après traitement de l'échantillon et insertion dans la géométrie de comptage, le couvercle est scotché, le pot soigneusement essuyé, puis doublement ensaché.
- Les échantillons conditionnés (prêt à être comptés) sont stockés dans une armoire dédiée sauf s'ils nécessitent un stockage au froid (réfrigérateur ou congélateur) ou si le débit de dose au contact dépasse 0,3 µSv/h (stockage en caisse plombée, voire château de plomb dans une pièce annexe à la salle de préparation).
- Avant insertion des échantillons dans les chaînes de comptage le sachet plastique externe du pot est enlevé de manière à garantir que toute contamination qui aurait pu intervenir pendant la phase d'entreposage avant comptage, ne soit pas transférée en salle de comptage (cette précaution est a priori superflue compte tenu des procédures mises en œuvre en amont).

T1 / Principales raies gamma utilisées par le laboratoire de la CRIIRAD pour évaluer les activités :

Note : pour chaque radionucléide qui dispose de plusieurs raies gamma, on vérifie la cohérence des résultats sur toutes les raies exploitables disponibles. Une seule raie est retenue in fine pour l'expression du résultat (cf liste ci-dessous) :

Radioéléments artificiels : (liste non exhaustive)

Radioéléments	Périodes radioactives*	Energies (keV)
Iode 129	1,5 10 ⁷ ans	29,6
Américium 241	432,8 ans	59,5
Cérium 144	284,9 jours	133,5
Iode 131	8,0 jours	364,5
Antimoine 125	2,7 ans	427,9
Césium 134	2,1 ans	604,7
Ruthénium 106	1,0 an cf ruthénium 106	
Rhodium 106	29,8 secondes	621,9
Argent 110 m	249,8 jours	657,7
Césium 137	30,0 ans	661,7
Cobalt 58	70,9 jours	810,8
Manganèse 54	312,2 jours	834,8
Cobalt 60	5,3 ans	1332,5

Radioéléments d'origine naturelle : (liste non exhaustive)

Radioéléments	Périodes radioactives*	Energies (keV) gamma
Chaîne de l'Uranium 238		
Thorium 234	24 jours	63,3
Radium 226	1600 ans	186,1
Plomb 214	27 minutes	351,9
Bismuth 214	20 minutes	609,3
Plomb 210	22,3 ans	46,5
Uranium 235	7 10 ⁸ ans	163,4
Chaîne du Thorium 232		
Actinium 228	6,1 heures	911,2
Plomb 212	10,6 heures	238,6
Thallium 208	3 minutes	583
Potassium 40	1,3 10 ⁹ ans	1460,8
Béryllium 7	53 jours	477,6

T2 / Le format typique d'expression des résultats est sous la forme :**RESULTATS DES ANALYSES EN SPECTROMETRIE GAMMA
EFFECTUEES PAR LE LABORATOIRE DE LA CRIIRAD****Produit / Commanditaire**

Code CRIIRAD	XX
Lieu de prélèvement	XX
Nature de l'échantillon	XX
N° analyse CRIIRAD	XX
Géométrie	XX
Etat F/S?	XX
Masse analysée (g)	XX
Temps de comptage (s)	XX
Date de la mesure	XX
Date d'échantillonnage	XX

Naturels	Energie (KeV)
----------	---------------

Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec (Bq/kg se)

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	XX	±	XX
Pa234 m	1 001,0	XX	±	XX
Th230*	67,7	XX	±	XX
Ra226**	186,1	XX	±	XX
Pb214	295,1	XX	±	XX
Pb214	351,9	XX	±	XX
Bi214	609,3	XX	±	XX
Pb210*	46,5	XX	±	XX

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	XX	±	XX
Pa231	283,7	XX	±	XX
Th227	256,2	XX	±	XX
Ra223	323,9	XX	±	XX
Rn219	401,7	XX	±	XX
Pb211	831,9	XX	±	XX

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	XX	±	XX
Pb212	238,6	XX	±	XX
Tl208	583,0	XX	±	XX

K40	1 460,8	XX	±	XX
Be7	477,6	XX	±	XX

Artificiels	Energie (KeV)			
Cs137	661,6	XX	±	XX
Cs134	604,7	XX	±	XX
Co58	810,8	XX	±	XX
Co60	1 332,5	XX	±	XX
Mn54	834,8	XX	±	XX
Sb125	427,9	XX	±	XX
I131	364,5	XX	±	XX
Ce144	133,5	XX	±	XX
Ag110m	657,7	XX	±	XX
Am241*	59,5	XX	±	XX
I129*	29,6	XX	±	XX
Ru106	621,9	XX	±	XX

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 à l'équilibre.

Vu technicien mesure
S. PatrigeonVu responsable laboratoire
B. Chareyron

Liste des équipements de mesure (spectrométrie gamma)

Le laboratoire de la CRIIRAD dispose de **2 chaînes de Spectrométrie Gamma HPGe type N** (EGG / ORTEC, GMX-N). **Efficacité relative 22,3 à 24 % à 1,33 MeV**. La résolution typique est de 1,72 keV de largeur à mi-hauteur sur le pic à 1,33 MeV du cobalt 60. Les détecteurs sont refroidis en permanence à l'azote liquide. Les chaînes de détection (haute tension, détecteurs, amplificateur, PC de contrôle) sont situées dans une salle dédiée et climatisée qui n'est accessible qu'au personnel du laboratoire.

Blindage : chaque détecteur est installé dans une chambre blindée (5 centimètres de plomb), dont les parois internes sont recouvertes d'une enveloppe de cuivre afin d'abaisser encore le bruit de fond.

Bruit de fond : les bruits de fond des chaînes de détection sont contrôlés chaque mois. Le bruit de fond est soustrait (dans le cas des radionucléides naturels) au signal brut. Lorsque la contribution du fond au signal mesuré sur l'échantillon est supérieure à 50 %, la valeur mesurée est considérée comme non quantifiable et une limite de détection est publiée à défaut. Le bruit de fond typique, de 50 keV à 2 MeV est de 208 cpm (détecteur C).

Analyseurs : le détecteur C est couplé à un analyseur 8 000 canaux (carte NUCLEUS) et le détecteur B à un codeur-analyseur 4 voies 16 000 canaux. La gamme d'énergie couverte varie de 20 keV à 1,8 MeV.

Le dépouillement des spectres se fait sur micro-ordinateur PC en mode manuel et avec l'aide du logiciel Visugamma.

Les conditions d'étalonnage sont décrites ci-dessous (description des étalons). La stabilité des détecteurs (fonctionnement général, résolution, rendement de détection) est vérifiée **chaque mois** au moyen d'un étalon solide de **résidu d'extraction de l'uranium UTS4 fourni par le CANMET Canadien conditionné en boîte de Pétri**. Toute anomalie (shutdown, coupure électrique excédent l'autonomie des onduleurs, allure anormale d'un spectre, etc..) donne lieu à une vérification systématique des performances des détecteurs. En règle générale, les comptages sont dépouillés sous 24 heures ce qui permet en outre d'être réactif en cas d'anomalie (suspicion de contamination, dérive thermique, etc..).

Liste des principaux équipements de conservation et de préparation des échantillons en vue de leurs mesures de radioactivité (spectrométrie gamma)

Les principaux équipements sont listés ci-dessous :

- Radiamètre (SPP2 Saphymo et DG5 Novelec) et débimètre (Sonde LB123 Berthold) pour mesure du flux de rayonnement gamma sur échantillon brut et adaptation du protocole de travail.
- Paillasse sous hotte ventilée.
- Paillasses.
- Etuves pour dessiccation des sols, sédiments, végétaux.
- Balances de précisions (au centième de gramme).
- Tamis et colonne de tamis pour sols et sédiments.
- Broyeur pour végétaux.
- Broyeur pour sols.
- Plaques chauffantes et récipients en verre pour évaporation des eaux.
- Pompe à vide et verrerie pour filtration des eaux (0,45 microns).
- Blouses, gants, dosimètres individuels, masques, lunettes de protection, liquide pour décontamination.
- Congélateur, réfrigérateur, armoires de rangement, châteaux de plomb.
- Bacs plastique, barquettes aluminium, récipients plastique pour conditionnement final avant analyse (petites boîtes de Pétri, boîtes de Pétri, pots 250 cc, Marinelli 560 CC, pots 1000 cc, etc..).

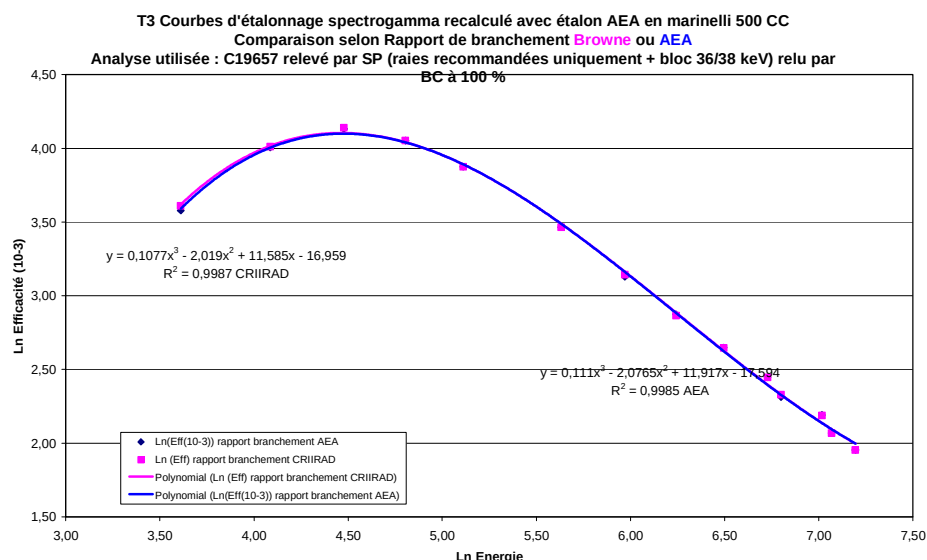
Liste des étalons de radioactivité (spectrométrie gamma)

1 / Matrices Eaux, Végétaux, Filtres Aérosols, etc. (densité proche de 1)

A partir de 1993, l'étalonnage des chaînes de spectrométrie gamma a été réalisé pour toutes les géométries utilisées (petite boîte de Pétri, boîte de Pétri, pot 250 cc, pot 500 cc, pot 1000cc, Marinelli, etc..) au moyen de : **2 sources multi-gamma Ba 133-Eu 152 en phase liquide fournies par le LMRI.**

Les courbes d'efficacité ($\ln(\text{Eff}) / \ln(\text{Energie})$) ont été déterminées par interpolation au moyen d'une fonction polynôme d'ordre 3 et les coefficients d'étalonnage ainsi déterminés sont appliqués aux matrices Eau, échantillons biologiques, filtres à aérosols et cartouches à charbon actif (gaz et halogènes).

Un nouvel étalon a été acquis en 2001 : Il s'agit du mélange **multi-gamma AEA** N°NG7 (NG3 + Mn 54 + Zn 65) sous forme de gel de densité 1 (15 raies utilisées appartenant à 12 éléments): Cs 137, Ce 139, Am 241, Cd 109, Co 57, Hg 203, Sn 113, Sr 85, Mn 54, Y 88, Zn 65, Co 60. La courbe d'Interpolation $\ln(\text{Eff}) / \ln(\text{Energie})$ d'ordre 3 établie en 2001 pour la géométrie Marinelli 500 est utilisée à ce jour moyennant une vérification de l'absence de dérive du rendement de la chaîne de comptage. Cette courbe est reproduite ci-dessous. On note que les courbes obtenues en utilisant soit les rapports de branchement auquel se réfère le laboratoire de la CRIIRAD (Browne et Firestone), soit les rapports préconisés par le fournisseur de la source (AEA) sont confondues.



2 / Matrices solides type sols, sédiments, etc...

S'agissant des échantillons de solides de type sol-sédiment, le conditionnement en géométrie « boîte de Pétri » est systématiquement privilégié (diminution de l'autoatténuation) lorsque l'étude porte sur des radionucléides à basse énergie (iode 129, plomb 210, américium 241, thorium 234, thorium 230). Dans le cas contraire c'est la géométrie Marinelli (et la courbe d'étalonnage associée) qui sont utilisées.

Ainsi, selon le cas (densité de l'échantillon, précision de l'analyse) :

- Soit les coefficients d'étalonnage sont ceux utilisés pour la matrice eau / végétaux , dans ce cas, le rapport d'essai porte, pour les radionucléides émetteurs gamma à basse énergie, la mention : « S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon ».
- Soit, essentiellement dans le cas où la densité du minéral est élevée (déchets miniers uranifères, zircon, etc..) un facteur correctif est apporté pour le calcul de l'activité des radionucléides naturels de basse énergie (< 200 keV), à partir du comptage d'un échantillon de résidu d'extraction de l'uranium UTS4 fourni par le CANMET Canadien et conditionné en boîte de Pétri et en Marinelli.

1.2 Protocole de dosage du tritium dans l'eau par scintillation liquide

La méthode utilisée par le laboratoire de la CRIIRAD est conforme à la **norme NF M 60-802-1**. Le laboratoire de la CRIIRAD a participé au groupe de travail chargé d'élaborer cette norme. Des précisions sur la méthodologie sont données ci-après.

Pour tous les types d'échantillons liquides, à réception au laboratoire, un transfert est effectué en flacon verre brun stocké au réfrigérateur. Les eaux de consommation, eaux de nappe ou de rivière sont conditionnées après décantation et ou filtration, sans distillation. Les eaux chargées, les eaux de mer et lixiviats sont distillés. Chaque échantillon est conditionné dans une fiole plastique² (**10 mL** d'échantillon et 10mL de liquide scintillant **Ultima Gold LLT**).

Les opérations de traitement des échantillons sont effectuées dans un secteur dédié de la salle de préparation des échantillons (paillasse dédiée, hotte ventilée dédiée). Dans le cas où sont traités des échantillons dont l'activité tritium est supposée anormalement élevée, ils sont stockés, par précaution, avant et après conditionnement, dans une zone dédiée directement sous extracteur d'air. La préparation et les comptages sont organisés en tenant compte de la gamme d'activité supposée des échantillons.

Le dosage du tritium par scintillation liquide est effectué sur un **compteur très bas bruit de fond (PACKARD 2770 TR/SL)** à cristal de BGO. Le compteur est situé dans une salle de comptage climatisée. S'agissant du tritium, la voie exploitée correspond à la fenêtre **0,5 à 6 keV**, pour laquelle le mouvement propre typique est de 1 cpm. Le bruit de fond est calculé avec de l'eau d'un forage profond préparé et compté dans les mêmes conditions que les échantillons. Dès la fin de la préparation du rack de comptage, il est mis en attente dans le compteur pendant au moins une nuit pour garantir une stabilisation des paramètres physico-chimiques. A l'issue du comptage, le rack est stocké au réfrigérateur.

Les comptages ont une durée de **500 minutes, fractionnée en 5 cycles** de comptage de 100 minutes. Cette durée peut être abaissée dans le cas où la statistique de comptage est inférieure à 10%.

Chaque cycle débute par un contrôle automatisé de la stabilité des instruments de mesure et par la vérification de l'étalonnage de l'appareil à l'aide de sources scellées de carbone 14 et de tritium. **La vérification de bon fonctionnement et de bon étalonnage est donc permanente.**

Le Quenching est estimé automatiquement pour chaque échantillon, à chaque cycle de comptage, au moyen d'une source gamma de référence externe. Le taux de comptage de cette source permet de déterminer l'indicateur d'affaiblissement lumineux (TSIE) du flacon contenant le mélange scintillant.

Le rendement de comptage est déduit d'une courbe de référence effectuée à partir d'une gamme d'étalons secondaires (de Quenching variable) préparée par dilutions, au laboratoire de la CRIIRAD, à partir d'un étalon tritié de référence. **Par précaution une nouvelle gamme de quenching est préparée tous les 2 ans** (même si le contrôle de bon fonctionnement et de bon étalonnage effectué automatiquement avant chaque mesure est satisfaisant).

La limite de détection est de l'ordre de 2 à 3 Bq/l.

L'absence d'interférence avec d'autres radionucléides émetteurs bêta est vérifiée systématiquement dans une fenêtre d'énergie supérieure à celle du tritium (20 à 500 keV).

S'agissant de la mesure du tritium dans l'eau, le laboratoire de la CRIIRAD participe à des exercices d'intercomparaison formels (OPRI puis IRSN) ou informels (CEA Saclay, laboratoire de l'ISS en Belgique, laboratoire STUK en Finlande, laboratoire RCD en Angleterre).

² Dans le cas d'échantillons supposés à activité élevée ou chimiquement agressifs une fiole en verre peut-être utilisée.

Liste des principaux équipements de conservation et de préparation des échantillons en vue de leurs mesures de radioactivité (scintillation liquide)

Les principaux équipements sont listés ci-dessous :

- Flacon en verre brun (250 cc) pour le stockage de l'aliquote au réfrigérateur en attente du traitement.
- Réfrigérateur.
- Liquide scintillant Ultima Gold LLT (marque PACKARD) conservé dans l'obscurité et dans une salle climatisée.
- Dispensette® de marque EPPENDORFF dont la calibration est vérifiée à chaque changement de bouteille de liquide scintillant au moyen d'une balance de précision au 1/100^{ème} g.
- Micro-pipette Finnpiquette® de marque LABSYSTEMS, à embouts jetables.
- Dispositif de distillation, avec refroidissement par circulation d'eau et verrerie adaptée.
- Hotte ventilée et paillasse dédiées à la préparation des échantillons destinés au dosage du tritium.
- Flacons de comptage en polyéthylène de contenance 20 ml, flacons de comptage en verre de contenance 20 mL.

Liste des étalons de radioactivité nécessaires aux agréments demandés (scintillation liquide)

Le compteur à scintillation recompte à chaque cycle, en automatique, des étalons scellés pour les vérifications systématiques de calibration et de bon fonctionnement avant chaque comptage. Il s'agit de :

- Un flacon verre de 20 mL fourni par Packard, Carbone 14, < 0,1 µCi ; 133 700 DPM, 7 Oct 1996.
- Un flacon verre de 20 mL fourni par Packard, Tritium, < 0,2 µCi ; 277 300 DPM, 7 Oct 1996.

Le rendement effectif est déterminé au moyen d'une gamme à Quenching variable préparée au laboratoire de la CRIIRAD (tous les 2 ans environ) par dilution à partir d'un étalon d'eau tritiée fourni par Packard [10 mL, 2,66E6 +/- 3 % dpm/g, 29 janvier 1997].

La stabilité de l'étalon utilisé est vérifiée systématiquement par l'examen de la cohérence entre le résultat du comptage sur aliquote non quenchée et l'activité nominale de l'étalon (corrigée de la décroissance). Afin d'identifier une dérive du système, des vérifications sont effectuées en outre par recomptage d'échantillons de référence à très faible activité (échantillons issus d'exercices d'intercomparaison OPRI, et désormais IRSN) et par intercomparaison avec des laboratoires partenaires situés à l'étranger.

Le laboratoire de la CRIIRAD a participé avec succès à l'exercice d'intercomparaison IRSN 72 SH 300 (eau, juillet 2004). Les résultats obtenus (activité tritium mesurée : 83,6 +/- 8,4 Bq/l) sont conformes aux critères définis par le comité d'agrément : Ecart = 3,7 % ; En = 0,31 ; Score Z = 0,67.

2 ANNEXE 2 : CHAINES DE DESINTREGRATION RADIOACTIVE DES TROIS FAMILLES DE RADIOELEMENTS NATURELS

CHAINE RADIOACTIVE

Famille de l'Uranium 238

Radioéléments	Mode de désintégration	Période de radioactivité
Uranium 238	α	4,5 10⁹ ans
Thorium 234	β	24 jours
Protactinium 234	β	1,2 minutes.
Uranium 234	α	2,5 10 ⁵ ans
Thorium 230	α	7,5 10 ⁴ ans
Radium 226	α	1,6 10³ans
Radon 222	α	3,8 jours
Polonium 218	α	3 minutes
Plomb 214	β	27 minutes
Bismuth 214	β	20 minutes
Polonium 214	α	1,6 10 ⁻⁴ secondes
Plomb 210	β	22,3 ans
Bismuth 210	β	5 jours
Polonium 210	α	138,5 jours
Plomb 206		Stable

Les radioéléments en gras dans les tableaux, indiquent qu'ils sont analysés en spectrométrie gamma.

CHAINE RADIOACTIVE

Famille de l'Uranium 235

Radioéléments	Mode de désintégration	Période radioactive
Uranium 235	α	7 10⁸ ans
Thorium 231	β	25,6 heures
Protactinium 231	α	3,3 10 ⁴ ans.
Actinium 227	β	21,8 ans
Thorium 227	α	18,7 jours
Radium 223	α	11,4 jours
Radon 219	α	3,9 secondes
Polonium 215	α	1,8 10 ⁻³ secondes
Plomb 211	β	36 minutes
Bismuth 211	α	2,2 minutes
Thallium 207	β	4,8 minutes
Plomb 207		Stable

Les radioéléments en gras dans les tableaux, indiquent qu'ils sont analysés en spectrométrie gamma.

CHAINE RADIOACTIVE

Famille du thorium 232

Radioéléments	Mode de désintégration	Période de radioactivité
Thorium 232	α	$1,4 \cdot 10^{10}$ ans
Radium 228	β	5,8 ans
Actinium 228	β	6,1 heures
Thorium 228	α	1,9 an
Radium 224	α	3,7 jours
Radon 220	α	55,6 secondes
Polonium 216	α	0,15 secondes
Plomb 212	β	10,6 heures
Bismuth 212	$\alpha \quad \beta$	1 heure
Thallium 208	β	3 minutes
Polonium 212	α	$3 \cdot 10^{-7}$ secondes
Plomb 208		Stable

Les radioéléments en gras dans les tableaux, indiquent qu'ils sont analysés en spectrométrie gamma

3 ANNEXE 3 : Résultats d'analyses détaillés :

3.1 Carottage TC1 à Mangareva (Taku)

Tableau TC1 : / Carottage TC1 Mangareva (Taku) / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A2	181005A3	181005A4
Code prélèvement	T3	T4	T5
Nature de l'échantillon	Terre	Terre	Terre
Description échantillon	Carottage	Carottage	Carottage
Profondeur (cm)	0-10	10-20	20-30
Surface du prélèvement	10 cm par 10 cm	10 cm par 10 cm	10 cm par 10 cm
Lieu de prélèvement	Eglise St Joseph	Eglise St Joseph	Eglise St Joseph
Flux gamma DG5 (c/s)	20	20	20
Mode de prélèvement	Pelle	Pelle	Pelle
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	05/10/2005	05/10/2005	05/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C	Séchage étuve 90°C	Séchage étuve 9 0°C

N°analyse	21945	21965	21974
Géométrie	C MAR	C MAR	C MAR
Etat Frais / Sec	s	s	S
Masse analysée (g)	575,67	539,43	503,20
Temps de comptage (s)	55 440	85 980	226 280
TMS	62,70%	69,70%	70,30%
Date de la mesure	27/10/2005	08/11/2005	11/11/2005

Naturels	Energie (KeV)	Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec								
Chaîne de l'uranium 238										
Th234*	63,3	11,1	±	5,5	7,5	±	4,7	8,2	±	4,4
Ra226**	186,1	5,3	±	1,1	6,3	±	1,2	5,8	±	1,0
Pb214	351,9	5,5	±	1,1	6,7	±	1,2	5,8	±	1,0
Bi214	609,3	5,2	±	1,1	5,8	±	1,2	5,8	±	1,1
Pb210*	46,5	11,5	±	4,7	4,8	±	3,0	8,6	±	3,0
Chaîne de l'uranium 235										
U235	163,4		<	2,1		<	1,9		<	1,7
Chaîne du thorium 232										
Ac228	911,2	12,1	±	2,5	12,8	±	2,5	11,6	±	2,1
Pb212	238,6	12,9	±	1,9	13,2	±	1,9	14,3	±	1,8
Tl208	583,0	4,4	±	0,8	4,6	±	0,8	4,5	±	0,7
K40	1 460,8		<	20,2		<	15,0		<	11,2
Be7	477,6		<	1,0		<	0,8		<	0,5

Artificiels	Energie (KeV)				
Cs137	661,6	1,8 ± 0,4	0,7 ± 0,3	0,9 ± 0,2	
Cs134	604,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Co58	810,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Co60	1 332,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Mn54	834,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Sb125	427,9	< 0,3	< 0,3	< 0,2	
I131	364,5	< 0,8	< 1,9	< 1,6	
Ce144	133,5	< 0,7	< 0,6	< 0,4	
Ag110m	657,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Am241*	59,5	< 0,2	< 0,2	< 0,1	
I129*	29,6	< 0,2	< 0,2	< 0,1	
Ru106	621,9	< 1,2	< 1,0	< 0,7	

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

3.2 Carottage TC2 aux Gambier (Taravai)

Tableau TC2 : / Carottage TC2 aux Gambier (Taravai) / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A5	181005A6	181005A7
Code prélèvement	T7	T8	T9
Nature de l'échantillon	Terre	Terre	Terre
Description échantillon	Carottage	Carottage	Carottage
Profondeur (cm)	0-10	10-20	20-30
Surface du prélèvement	10 cm par 10 cm	10 cm par 10 cm	10 cm par 10 cm
Lieu de prélèvement	Eglise en ruine	Eglise en ruine	Eglise en ruine
Lieu de prélèvement (bis)	Taravai	Taravai	Taravai
Flux gamma DG5 (c/s)	20	20	20
Mode de prélèvement	Pelle	Pelle	Pelle
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	06/10/2005	06/10/2005	06/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C	Séchage étuve 90°C	Séchage étuve 9 0°C
N°analyse	22030	22033	22038
Géométrie	B MAR	B MAR	B MAR
Etat Frais / Sec	s	s	s
Masse analysée (g)	537,29	564,74	541,00
Temps de comptage (s)	54 889	55 932	85 997
TMS	59,20%	65,30%	68,83%
Date de la mesure	05/12/2005	06/12/2005	07/12/2005

Naturels		Energie (KeV)		Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec						
Chaîne de l'uranium 238										
Th234*	63,3	9,3	±	4,1	8,3	±	3,5	7,1	±	2,8
Ra226**	186,1	5,7	±	1,1	6,2	±	1,1	6,7	±	1,2
Pb214	351,9	5,9	±	1,1	7,0	±	1,2	6,6	±	1,1
Bi214	609,3	5,6	±	1,1	5,3	±	1,0	6,8	±	1,2
Pb210*	46,5	16,3	±	4,5	12,9	±	4,1	8,9	±	3,1
Chaîne de l'uranium 235										
U235	163,4			< 1,6			< 1,6			< 1,3
Chaîne du thorium 232										
Ac228	911,2	9,7	±	1,9	9,5	±	1,8	10,3	±	1,8
Pb212	238,6	10,7	±	1,5	11,4	±	1,6	11,8	±	1,5
Tl208	583,0	3,6	±	0,6	3,7	±	0,6	3,9	±	0,6
K40	1 460,8			< 23,8			< 17,9			< 19,6
Be7	477,6			< 1,0			< 0,9			< 0,7

Artificiels	Energie (KeV)			
Cs137	661,6	4,6 ± 0,8	6,8 ± 1,0	3,1 ± 0,5
Cs134	604,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Co58	810,8	< 0,2	< 0,2	< 0,1
Co60	1 332,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mn54	834,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb125	427,9	< 0,3	< 0,3	< 0,3
I131	364,5	< 20,3	< 20,4	< 18,9
Ce144	133,5	< 0,8	< 0,8	< 0,6
Ag110m	657,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Am241*	59,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2
I129*	29,6	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Ru106	621,9	< 1,2	< 1,1	< 0,9

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

3.3 Carottage TC3 à Mangareva (Rikitea)

Tableau TC3 : / Carottage TC3 à Mangareva (Rikitea) / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A8	181005A9	181005A10
Code prélèvement	T12	T13	T14
Nature de l'échantillon	Terre sablonneuse	Terre sablonneuse	Terre sablonneuse
Description échantillon	Carottage	Carottage	Carottage
Profondeur	0-10	10-20	20-30
Surface du prélèvement	10 cm par 10 cm	10 cm par 10 cm	10 cm par 10 cm
Lieu de prélèvement	Chapelle ST Anne	Chapelle ST Anne	Chapelle ST Anne
Lieu de prélèvement (bis)	Rikitea	Rikitea	Rikitea
Flux gamma DG5 (c/s)	15	15	15
Mode de prélèvement	Pelle	Pelle	Pelle
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	07/10/2005	07/10/2005	07/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C	Séchage étuve 90°C	Séchage étuve 9 0°C
N° analyse	22037	22041	22025
Géométrie	C MAR	C MAR	C MAR
Etat Frais / Sec	s	s	s
Masse analysée (g)	483,52	549,41	542,85
Temps de comptage (s)	55 840	54 690	231 050
TMS	71,80%	77,10%	75,55%
Date de la mesure	07/12/2005	08/12/2005	02/12/2005

Naturels	Energie (KeV)	Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec			
----------	---------------	--	--	--	--

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	33,1 ± 8,5	32,3 ± 7,4	35,3 ± 6,8
Ra226**	186,1	1,0 ± 0,7	1,1 ± 0,7	0,9 ± 0,5
Pb214	351,9	0,9 ± 0,7	1,1 ± 0,6	0,9 ± 0,5
Bi214	609,3	1,1 ± 0,8	1,0 ± 0,7	0,9 ± 0,5
Pb210*	46,5	10,4 ± 4,6	< 3,8	< 1,7

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	< 5,1	< 9,6	< 6,6
------	-------	-------	-------	-------

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	< 2,0	< 1,5	< 0,8
Pb212	238,6	0,8 ± 0,4	0,6 ± 0,4	< 0,4
Tl208	583,0	< 0,8	< 0,6	< 0,3

K40	1 460,8	< 14,1	< 10,2	< 5,0
Be7	477,6	< 1,1	< 0,9	< 0,5

Artificiels	Energie (KeV)				
Cs137	661,6	2,8 ± 0,6	0,5 ± 0,3	0,6 ± 0,2	
Cs134	604,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Co58	810,8	< 0,2	< 0,2	< 0,1	
Co60	1 332,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Mn54	834,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Sb125	427,9	< 0,4	< 0,3	< 0,2	
I131	364,5	< 25,7	< 23,8	< 7,0	
Ce144	133,5	< 0,8	< 0,7	< 0,3	
Ag110m	657,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Am241*	59,5	< 0,2	< 0,2	< 0,1	
I129*	29,6	< 0,2	< 0,2	< 0,1	
Ru106	621,9	< 1,4	< 1,2	< 0,6	

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

3.4 Sédiment S1 et carottage de sédiments SD1 à Mangareva (Taku)

Tableau TSD1 : / Sédiment S1 et carottage de sédiments SD1 à Mangareva (Taku) / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A23	181005A24	181005A25	181005A26
Code prélèvement	S1	S2	S3	S4
Nature de l'échantillon	Sédiment	Sédiment	Sédiment	Sédiment
Profondeur	superficiel 0-15 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Lieu de prélèvement	Torrent Vaipapa au nord de Taku à Mangareva	Caniveau à Taku	Caniveau à Taku	Caniveau à Taku
Flux gamma DG5 (c/s)	20	20	20	20
Mode de prélèvement	pelle	pelle	pelle	pelle
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	05/10/2005	05/10/2005	05/10/2005	05/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C / Tamisé 2 mm	Séchage étuve 90°C / Tamisé 2 mm	Séchage étuve 90°C / Tamisé 2 mm	Séchage étuve 90°C / Tamisé 2 mm
N°analyse	22039	22052	22046	22054
Géométrie	C MAR	B MAR	B MAR	B MAR
Etat Frais / Sec	s	s	s	s
Masse analysée (g)	458,60	544,73	522,65	568,27
Temps de comptage (s)	31 020	85 121	86 398	84 969
TMS	51,50%	69,20%	65,06%	60,87%
Date de la mesure	08/12/2005	13/12/2005	12/12/2005	14/12/2005

Naturels	Energie (KeV)	Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec											
Chaîne de l'uranium 238													
Th234*	63,3	10,1	±	7,0	8,9	±	3,3	3,8	±	2,7	4,6	±	2,7
Ra226**	186,1	7,4	±	1,7	5,3	±	1,0	5,8	±	1,1	4,9	±	0,9
Pb214	351,9	7,8	±	1,7	5,3	±	1,0	5,7	±	1,0	4,6	±	0,9
Bi214	609,3	7,1	±	1,7	5,3	±	1,0	5,8	±	1,1	5,2	±	0,9
Pb210*	46,5	18,8	±	6,7	6,0	±	3,0	8,5	±	3,0	5,0	±	2,4
Chaîne de l'uranium 235													
U235	163,4			< 3,1			< 1,3			< 1,3			< 1,3
Chaîne du thorium 232													
Ac228	911,2	12,7	±	3,1	11,1	±	1,9	11,6	±	2,0	11,8	±	2,0
Pb212	238,6	14,2	±	2,4	13,3	±	1,7	13,4	±	1,7	12,6	±	1,6
Tl208	583,0	4,4	±	1,0	4,2	±	0,7	4,2	±	0,7	4,2	±	0,6
K40	1 460,8			< 29,0			< 27,2			< 22,0			< 15,5
Be7	477,6			< 1,6			< 0,8			< 0,7			< 0,6

Artificiels	Energie (KeV)				
Cs137	661,6	2,9 ± 0,7	1,3 ± 0,3	1,2 ± 0,3	1,1 ± 0,3
Cs134	604,7	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Co58	810,8	< 0,4	< 0,1	< 0,2	< 0,2
Co60	1 332,5	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mn54	834,8	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb125	427,9	< 0,6	< 0,3	< 0,3	< 0,2
I131	364,5	< 49,2	< 33,2	< 32,8	< 35,0
Ce144	133,5	< 1,3	< 0,6	< 0,7	< 0,6
Ag110m	657,7	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Am241*	59,5	< 0,3	< 0,2	< 0,2	< 0,2
I129*	29,6	< 0,4	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Ru106	621,9	< 2,1	< 0,9	< 1,0	< 0,9

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

3.5 Carottage de sédiments SD2 aux Gambier (Taravai)

Tableau TSD2 : / carottage de sédiments SD2 aux Gambier (Taravai) / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A27	181005A28	181005A29
Code prélèvement	S5	S6	S7
Nature de l'échantillon	Sédiment	Sédiment	Sédiment
Profondeur	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Lieu de prélèvement	Torrent Taravai	Torrent Taravai	Torrent Taravai
Flux gamma DG5 (c/s)	20	20	20
Mode de prélèvement	Pelle	Pelle	Pelle
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	06/10/2005	06/10/2005	06/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C / tamisé 2 mm	Séchage étuve 90°C / tamisé 2 mm	Séchage étuve 90°C / tamisé 2 mm

N°analyse	22053	22042	22040
Géométrie	C MAR	C MAR	B MAR
Etat Frais / Sec	s	s	s
Masse analysée (g)	488,82	504,21	530,22
Temps de comptage (s)	85 420	28 052	76 275
TMS	52,90%	48,50%	62,80%
Date de la mesure	13/12/2005	09/12/2005	08/12/2005

Naturels	Energie (KeV)
----------	---------------

Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	< 7,4	13,0 ± 7,1	6,8 ± 3,0
Ra226**	186,1	6,0 ± 1,2	5,4 ± 1,4	5,3 ± 1,0
Pb214	351,9	6,4 ± 1,2	6,0 ± 1,5	5,7 ± 1,1
Bi214	609,3	5,7 ± 1,2	4,8 ± 1,4	5,0 ± 1,0
Pb210*	46,5	12,0 ± 4,4	14,2 ± 5,9	12,5 ± 3,8

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	< 2,1	< 2,9	< 1,5
------	-------	-------	-------	-------

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	12,0 ± 2,5	12,8 ± 3,1	10,5 ± 1,9
Pb212	238,6	12,9 ± 1,8	11,5 ± 2,0	12,7 ± 1,7
Tl208	583,0	4,3 ± 0,8	4,1 ± 0,9	4,2 ± 0,7

K40	1 460,8	< 29,2	< 23,2	< 43,8
Be7	477,6	3,5 ± 1,6	< 1,6	< 0,8

Artificiels	Energie (KeV)
-------------	---------------

Cs137	661,6	2,1 ± 0,5	2,7 ± 0,7	2,6 ± 0,5
Cs134	604,7	< 0,1	< 0,2	< 0,1
Co58	810,8	< 0,2	< 0,3	< 0,2
Co60	1 332,5	< 0,1	< 0,2	< 0,1
Mn54	834,8	< 0,1	< 0,2	< 0,1
Sb125	427,9	< 0,3	< 0,5	< 0,3
I131	364,5	< 38,5	< 46,8	< 23,4
Ce144	133,5	< 0,7	< 1,2	< 0,7
Ag110m	657,7	< 0,1	< 0,2	< 0,1
Am241*	59,5	< 0,2	< 0,3	< 0,2
I129*	29,6	< 0,2	< 0,4	< 0,2
Ru106	621,9	< 1,2	< 1,9	< 1,0

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

3.6 Carottage de sédiments SD3 à Mangareva (Gatawake)

Tableau TSD3 : / carottage de sédiments SD3 à Mangareva (Gatawake) / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A30	181005A31	181005A32
Code prélèvement	S8	S9	S10
Nature de l'échantillon	Sol-sédiment	Sol-sédiment	Sol-sédiment
Profondeur	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Lieu de prélèvement	Zone de débordement Tarodière	Zone de débordement Tarodière	Zone de débordement Tarodière
Lieu de prélèvement (bis)	Gatawake	Gatawake	Gatawake
Flux gamma DG5 (c/s)	20	20	20
Mode de prélèvement	Pelle	Pelle	Pelle
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	08/10/2005	08/10/2005	08/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C / tamisé 2 mm	Séchage étuve 90°C / tamisé 2 mm	Séchage étuve 90°C / tamisé 2 mm
N°analyse	21952	21940	21968
Géométrie	C MAR	C MAR	C MAR
Etat Frais / Sec	s	s	s
Masse analysée (g)	524,19	519,20	510,10
Temps de comptage (s)	86 580	86 010	86 290
TMS	68,90%	74,30%	69,06%
Date de la mesure	02/11/2005	25/10/2005	09/11/2005

Naturels	Energie (KeV)
----------	---------------

Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	10,6 ± 5,4	5,1 ± 4,5	10,7 ± 5,3
Ra226**	186,1	6,1 ± 1,2	5,0 ± 1,0	6,7 ± 1,2
Pb214	351,9	5,9 ± 1,1	4,7 ± 1,0	7,0 ± 1,2
Bi214	609,3	6,3 ± 1,2	5,2 ± 1,1	6,5 ± 1,2
Pb210*	46,5	8,6 ± 3,8	9,6 ± 3,9	5,9 ± 3,3

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	< 2,0	< 2,0	< 2,0
------	-------	-------	-------	-------

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	10,0 ± 2,2	9,2 ± 2,1	10,2 ± 2,2
Pb212	238,6	12,0 ± 1,8	10,0 ± 1,5	11,1 ± 1,6
Tl208	583,0	3,4 ± 0,6	3,3 ± 0,7	3,8 ± 0,7

K40	1 460,8	< 59,4	< 68,4	< 48,7
Be7	477,6	1,4 ± 1,1	< 0,8	< 0,9

Artificiels	Energie (KeV)			
Cs137	661,6	2,1 ± 0,5	2,6 ± 0,5	3,1 ± 0,6
Cs134	604,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Co58	810,8	< 0,1	< 0,1	< 0,2
Co60	1 332,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mn54	834,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sb125	427,9	< 0,3	< 0,3	< 0,3
I131	364,5	< 0,9	< 0,4	< 1,6
Ce144	133,5	< 0,6	< 0,6	< 0,7
Ag110m	657,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Am241*	59,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2
I129*	29,6	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Ru106	621,9	< 1,1	< 1,0	< 1,1

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

3.7 Sols et matériaux prélevés à Taravai et Rikitea (Mangareva)

Tableau TAC : / Terre T6 (Taravai), terres T10 et T11 (Rikitea), ciment BA1 (Rikitea) / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A12	181005A13	181005A14	181005A19
Code prélèvement	T6	T10	T11	BA1
Nature de l'échantillon	Terre	Terre	Terre grasse	Ciment
Description échantillon	Sol gouttage	entre les dalles de couverture	Fond du trou à Popoi	caniveau pluvial
Profondeur	Néant	5 cm	-50 à -60 cm	surface
Lieu de prélèvement	Eglise St Gabriel	Toit vivier du roi	près cathédrale	bord abri population
Lieu de prélèvement (bis)	Taravai	Rikitea	Rikitea	Rikitea
Flux gamma DG5 (c/s)	30	non mesuré	30	45
Mode de prélèvement	pelle, racloir	racloir	pelle	burin
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	06/10/2005	07/10/2005	07/10/2005	08/10/2005
Préparation	séchage étuve 90°C	séchage étuve 90°C	Séchage étuve 9 0°C	brut
N° analyse	22051	22022	22032	22002
Géométrie	C MAR	C MAR	B P	C P
Etat Frais / Sec	s	s	s	f
Masse analysée (g)	474,13	462,82	56,71	78,08
Temps de comptage (s)	94 180	54 790	28 579	54 930
TMS	60,70%	76,20%	37,74%	brut
Date de la mesure	12/12/2005	01/12/2005	06/12/2005	23/11/2005

Naturels	Energie (KeV)
----------	---------------

Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	28,8 ± 7,3	45,9 ± 9,6	< 33,5	< 69,8
Ra226**	186,1	4,2 ± 1,0	1,5 ± 0,7	8,4 ± 4,7	3,5 ± 3,0
Pb214	351,9	3,9 ± 0,9	1,4 ± 0,7	9,1 ± 5,1	4,6 ± 3,1
Bi214	609,3	4,5 ± 1,0	1,6 ± 0,8	7,6 ± 4,4	2,4 ± 3,0
Pb210*	46,5	40,6 ± 7,4	24,5 ± 6,5	< 45,4	< 11,5

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	< 9,0	< 6,6	< 13,3	< 10,1
------	-------	-------	-------	--------	--------

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	3,7 ± 1,5	1,3 ± 1,3	12,8 ± 8,3	8,4 ± 7,0
Pb212	238,6	4,6 ± 0,9	1,3 ± 0,5	12,4 ± 3,8	10,0 ± 3,0
Tl208	583,0	1,5 ± 0,5	0,5 ± 0,4	7,3 ± 2,6	4,9 ± 2,1

K40	1 460,8	< 18,6	< 12,2	< 97,8	< 55,4
Be7	477,6	3,7 ± 1,8	6,4 ± 2,4	< 8,1	< 5,2

Artificiels	Energie (KeV)
-------------	---------------

Cs137	661,6	8,9 ± 1,3	2,5 ± 0,6	< 1,2	< 0,8
Cs134	604,7	< 0,1	< 0,1	< 1,0	< 0,6
Co58	810,8	< 0,2	< 0,2	< 1,8	< 1,0
Co60	1 332,5	< 0,1	< 0,1	< 0,9	< 0,6
Mn54	834,8	< 0,1	< 0,2	< 1,2	< 0,7
Sb125	427,9	< 0,3	< 0,4	< 2,7	< 1,8
I131	364,5	< 34,8	< 15,1	< 167,4	< 32,3
Ce144	133,5	< 0,7	< 0,9	< 6,5	< 3,3
Ag110m	657,7	< 0,1	< 0,2	< 1,1	< 0,7
Am241*	59,5	< 0,2	< 0,2	< 1,5	< 0,7
I129*	29,6	< 0,2	< 0,3	< 1,3	< 0,7
Ru106	621,9	< 1,1	< 1,4	< 10,0	< 6,2

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

3.8 Sols et matériaux prélevés à Taku (Mangareva)

Tableau TB : / Terres T2, T15, T16 et PT1 et fibro ciment FC1 (Taku) / résultats détaillés des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD

Code CRIIRAD	181005A11	181005A15	181005A16	181005A18	181005A17
Code prélèvement	T2	T15	PT1	FC1	T16
Nature de l'échantillon	Terre	Terre	Terre	Fibro ciment	Terre
Profondeur	angle socle et paroi	angle socle et paroi	-10 à -15 cm	surface	0 à 7 cm
Lieu de prélèvement	Bordure sud blockhaus	Angle sud-est blockhaus	Dans prise terre ouest blockhaus	Dans pluviale angle nord-est blockhaus	Décanteur lavage hangar militaire
Lieu de prélèvement (bis)	Taku	Taku	Taku	Taku	Taku
Flux gamma DG5 (c/s)	40 (angle)	60 (angle)	non mesuré	40	50
Mode de prélèvement	pelle	pelle	racloir	burin	pelle
Préleveur	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD	CRIIRAD
Date d'échantillonnage	05/10/2005	08/10/2005	08/10/2005	08/10/2005	08/10/2005
Préparation	Séchage étuve 90°C	Séchage étuve 90°C	Séchage étuve 9 0°C	brut	Séchage étuve 90°C
N°analyse	22 017	22 014	22 013	21 999	22 028
Géométrie	C MAR	C P	C P	C B250	B P
Etat Frais / Sec	s	s	s	f	s
Masse analysée (g)	445,01	54,53	63,54	253,90	42,55
Temps de comptage (s)	54 290	55 210	28 940	29 470	31 001
TMS	50,70%	42,30%	71,21%	non mesuré	57,40%
Date de la mesure	30/11/2005	29/11/2005	29/11/2005	22/11/2005	05/12/2005

Naturels	Energie (KeV)
----------	---------------

Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	21,0 ± 7,2	< 55,4	< 35,0	< 40,0	< 32,6
Ra226**	186,1	3,9 ± 1,1	5,8 ± 4,4	11,0 ± 5,6	18,3 ± 4,5	< 15,0
Pb214	351,9	3,9 ± 1,0	7,3 ± 4,4	12,7 ± 5,6	19,3 ± 4,6	< 7,1
Bi214	609,3	3,9 ± 1,1	4,4 ± 4,3	9,3 ± 5,6	17,3 ± 4,4	< 22,8
Pb210*	46,5	34,6 ± 8,3	< 16,7	< 23,0	23,6 ± 15,5	174 ± 42

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	< 2,6	< 14,5	< 15,6	< 9,6	< 16,8
------	-------	-------	--------	--------	-------	--------

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	7,2 ± 2,1	< 16,9	14,1 ± 9,2	16,4 ± 6,7	< 18,7
Pb212	238,6	6,7 ± 1,3	6,3 ± 2,8	15,0 ± 5,0	7,5 ± 2,4	8,1 ± 3,9
Tl208	583,0	2,3 ± 0,6	1,6 ± 2,1	7,3 ± 3,4	5,1 ± 1,8	< 6,2

K40	1 460,8	< 41	< 132	< 108	< 72	< 133
Be7	477,6	4,8 ± 2,3	< 7,2	< 7,9	< 4,6	< 11,2

Artificiels	Energie (KeV)
-------------	---------------

Cs137	661,6	2,5 ± 0,6	5,0 ± 2,0	6,3 ± 2,7	< 0,6	13,7 ± 3,7
Cs134	604,7	< 0,2	< 0,9	< 1,0	< 0,6	< 1,2
Co58	810,8	< 0,3	< 1,4	< 1,6	< 0,9	< 2,2
Co60	1 332,5	< 0,1	< 0,8	< 1,0	< 0,6	< 1,2
Mn54	834,8	< 0,2	< 1,1	< 1,1	< 0,6	< 1,4
Sb125	427,9	< 0,4	< 2,4	< 2,9	< 1,7	< 3,8
I131	364,5	< 18,6	< 73,3	< 85,2	< 27,6	< 184,2
Ce144	133,5	< 0,9	< 4,7	< 5,4	< 3,5	< 8,4
Ag110m	657,7	< 0,2	< 1,0	< 1,2	< 0,6	< 1,6
Am241*	59,5	< 0,2	< 1,0	< 1,3	< 0,8	< 2,2
I129*	29,6	< 0,3	< 1,0	< 1,3	< 0,8	< 1,6
Ru106	621,9	< 1,5	< 9,2	< 11,1	< 5,9	< 12,8

Légende :

± : Marge d'incertitude

< : Limite de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 hors équilibre.

4 ANNEXE 4 : Copie de la lettre adressée par la CRIIRAD au Président de la République Française à propos de la situation radiologique des atolls de Moruroa et Fangataufa



Valence, le 4 mars 1999

Lettre ouverte

à M. le Président de la République
et à M. le Premier ministre

De 1966 à 1996, la France a effectué, sur les atolls de Moruroa et Fangataufa, dans l'archipel polynésien des Tuamotu, 41 essais nucléaires atmosphériques, 137 essais souterrains et 15 tirs de sécurité.

Au terme de trente années d'expérimentations, le gouvernement français a demandé à l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) de réaliser une expertise de la situation radiologique des **deux atolls**, de déterminer s'il existe des risques pour la population et de faire des recommandations sur la nature, l'ampleur et la durée des activités de surveillance, des mesures correctives ou d'autres mesures qui pourraient être nécessaires. (1)

L'AIEA a rendu publics, en juin 1998, les rapports d'étude ainsi que les conclusions et recommandations qui en ont été tirées. Le bilan est catégorique (2) :

- **"Il n'est pas nécessaire de poursuivre la surveillance** de l'environnement de Mururoa et de Fangataufa à des fins de protection radiologique."
- **"aucune mesure corrective n'est nécessaire** à Mururoa et à Fangataufa pour des raisons de protection radiologique, que ce soit maintenant ou à l'avenir."

La CRIIRAD a procédé à l'examen critique des documents édités par l'AIEA (rapport principal, rapport technique en 6 volumes et documents de synthèse). Le résultat de cette analyse sera publié prochainement (3) mais **nous sollicitons d'ores-et-déjà votre intervention pour que soit officiellement reconnu :**

- **que les deux atolls constituent, du fait de la radioactivité accumulée dans leur sous-sol, des sites de stockage de déchets radioactifs de catégorie INB ;**
- **que les deux atolls ne peuvent être banalisés étant donné les niveaux de contamination de la biosphère, en particulier les niveaux de contamination en **plutonium de certains motu de Moruroa.****

1. Classement des atolls comme sites de stockage de déchets radioactifs (4).

Sur la base du terme source tel que l'a évalué l'expertise AIEA, l'activité totale des déchets accumulés dans les sous-sols des atolls atteint 13 729 TBq à Moruroa et 3 482 TBq à Fangataufa (5). Ces valeurs sont respectivement **371 fois et 94 fois supérieures** au seuil de classement comme installations nucléaires de base (INB), catégorie qui regroupe les installations les plus importantes : centrales nucléaires, usines de retraitement et principaux centres de stockage de substances radioactives.

2. Inscription à l'inventaire des sites contaminés (4) .

Les analyses publiées par l'AIEA révèlent une contamination étendue, mais très variable, de l'environnement accessible des atolls. Dans le secteur nord de Moruroa, les niveaux de plutonium 239 et d'américium 241, la répartition très superficielle des polluants et la présence de particules chaudes, imposent, **au minimum**, et à défaut d'une décontamination rigoureuse, la mise en oeuvre de **contre-mesures garantissant la signalisation des risques et le contrôle des accès**.

Les conclusions publiées par l'AIEA - ni surveillance, ni contre-mesure - ne sont conformes ni au droit français, ni aux principes fondamentaux de radioprotection. Nous demandons, en conséquence, une régularisation de la situation des atolls. Au delà de ce nécessaire alignement sur les normes en vigueur en métropole, nous souhaiterions attirer votre attention sur la **dimension symbolique de cette reconnaissance juridique**.

En 1956, de Gaulle prédisait aux Polynésiens que leur territoire pourrait devenir "un refuge et un centre d'action pour la civilisation toute entière" face "aux périls que la menace atomique fait peser sur la terre". Huit ans plus tard, les atolls de Moruroa et Fangataufa étaient cédés à l'État français dans des conditions qui ne lui font pas honneur : cession gratuite, sans vote de l'Assemblée territoriale, assortie d'une clause stipulant qu'en cas d'arrêt des essais nucléaires, les atolls seraient restitués "dans l'état où ils se trouveront à cette époque, sans dédommagement ni réparation d'aucune sorte de la part de l'État".

On ne réécrit pas le passé, mais il nous appartient, aujourd'hui, de clôturer dignement ces trente années d'expérimentations. La France peut choisir d'avaliser les conclusions de l'expertise internationale et interrompre toute surveillance. Cette décision résonnerait comme un ultime déni de justice. Notre pays pourrait, au contraire, décider de **reconnaître la réalité de l'héritage radioactif qu'il laisse, et pour le très long terme, à la Polynésie** : 149 dépôts de déchets radioactifs dans des sous-sols saturés d'eau, des rejets radioactifs dans les lagons et l'océan, un environnement contaminé, des secteurs à risque. Il ne s'agit pas d'alarmer les habitants de l'archipel des Tuamotu, et moins encore ceux du Pacifique sud. Les capacités de dilution de l'océan sont considérables : au delà des deux atolls, les risques resteront certainement négligeables, même pour les îles les plus proches.

Entre alarmisme et négation des réalités, il doit y avoir place pour répondre à l'exigence de vérité des Polynésiens. Il est de la responsabilité de l'État français d'assurer la surveillance des sites, de suivre l'évolution des rejets et d'engager une réflexion sur la façon de conserver, sur le très long terme, la mémoire du contenu radioactif des atolls.

Restant dans l'attente de votre décision et à l'entière disposition de vos services pour tout complément d'information, nous vous prions d'agréer, Monsieur le Président de la République, Monsieur le Premier ministre, l'expression de notre très haute considération.

Pour la CRII-RAD
La directrice
Corinne Castanier.

(1) Le mandat de l'étude incluait une évaluation prospective à long terme, mais excluait l'évaluation rétrospective des doses reçues dans le passé, notamment lors des essais atmosphériques.

(2) Les auteurs précisent que même "des erreurs importantes n'influeraient pas sur les conclusions". Le texte intégral est présenté en annexe 1.

(3) Dans le cadre des actes du colloque "Essais nucléaires français en Polynésie : exigence de vérité et propositions pour l'avenir" qui s'est tenu le 20 février 1999 à l'Assemblée nationale.

(4) Les principaux éléments de notre argumentation sont développés dans les pages ci-après.

(5) Ces valeurs sont exprimées en équivalent du groupe 1.

1 TBq (Térabecquerels) = 1 000 milliards de becquerels (1012 Bq). Le becquerel est l'unité légale de mesure de la radioactivité.

Publication disponible : [Essais nucléaires français en Polynésie](#) (Actes du colloque du 20/02/99).