

Exposition des habitants de l'atoll de TUREIA (Polynésie Française) aux retombées radioactives des essais nucléaires atmosphériques. (Phase 1 /examen préliminaire des documents déclassifiés)

Contexte

Entre **1966 et 1974**, la France a effectué **41 essais nucléaires atmosphériques** (et 5 essais de sécurité) sur les atolls de Moruroa et Fangataufa en Polynésie Française.

Les retombées radioactives induites ont entraîné en particulier une exposition des populations de Polynésie Française.

Un certain nombre de documents initialement classés « secret défense » ont été déclassifiés ces dernières années et permettent de disposer de données inédites sur la contamination de l'environnement à l'époque de ces retombées. Monsieur Bruno Barrillot a fourni à la CRIIRAD, en format numérique, **233 rapports déclassifiés**, soit **9 151 pages**.

Dans le cadre de cette étude très préliminaire, la Délégation Polynésienne pour le Suivi des Essais Nucléaires a demandé au laboratoire de la CRIIRAD de réaliser un premier examen rapide de ces documents afin de déterminer s'il était possible de donner une appréciation sur l'ampleur des risques sanitaires pour les habitants de **l'atoll de Tureia** situé à 110 de kilomètres de Moruroa. Tureia comptait 40 habitants au recensement de 1967 et 68 lors de celui de 1971.

La liste des documents examinés est reproduite en Annexe 1.

Rappel des évaluations officielles

Le rapport d'avril **1997** de G. Bourges « *radiological consequences of the atmospheric tests on the islands of French Polynesia from 1966 to 1994* » propose une estimation des équivalents de dose efficace, pour les individus **adultes**, attribuables aux retombées intervenues entre **1966 et 1974**. En ce qui concerne les habitants de Tureia, les retombées radioactives issues de seulement **2 tirs** sont prises en compte : les tirs **Arcturus** du 2 juillet **1967** et **Encelade** du 12 juin **1971**.

Les valeurs ont été calculées pour la **première année après le tir**, l'auteur considérant que, après la première année, les doses résiduelles dues aux radionucléides à période moyenne et longue sont au moins 10 fois inférieures. Ces équivalents de dose efficace auraient été de **900 microSieverts** à l'issue du tir Arcturus de 1967 et **1 300 microSieverts** à l'issue du tir Encelade de 1971.

Le rapport¹ CEA-R-6136 de juin **2006** [CEA 2006] « *Les atolls de Mururoa et de Fangataufa. Les expérimentations nucléaires. Aspects radiologiques* » reprend les évaluations de dose du rapport de 1997 pour les retombées de juillet 1967 et juin 1971. Les tableaux 1 et 2 page suivante sont extraits de ce rapport.

¹ http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/077/39077318.pdf

Tableau 1 / caractéristiques des retombées à Tureia (CEA, 2006, page 426)

ESSAIS	DURÉE	NATURE	DÉBIT DE DOSE MAXIMUM*	DÉBIT DE DOSE EN FIN DE RETOMBÉE	DÉPÔT AU SOL (β , γ)
ARCTURUS 02/07/67 - 17H30 TU	3h H+8h30 à H+11h30	Aérosols Pluie	3 mrad/h (30 μ Gy/h)	1,6 mrad/h (16 μ Gy/h) H+11h30	3,3.10 ⁶ Bq/m ² H+24h
ENCELADE 12/06/71 - 19H15 TU	14h H+10h à H+24h	Pluie	5,5 mrad/h (55 μ Gy/h)	2 mrad/h (20 μ Gy/h) H+24h	1,3.10 ⁷ Bq/m ² H+22h45

* passage du nuage

Tableau 2 / expositions annuelles maximales, équivalent de dose efficace (CEA, 2006, page 435)

ESSAIS	DATE	ÎLES	Dose externe en mSv	Inhalation en mSv	Ingestion en mSv	TOTAL en mSv
ALDEBARAN	02/07/66	GAMBIER	3,4 (340 mrem)	0,18 (18 mrem)	1,9 (190 mrem)	5,5 (550 mrem)
ARCTURUS	02/07/67	TUREIA	0,7 (70 mrem)	0,023 (2,3 mrem)	0,17 (17 mrem)	0,9 (90 mrem)
ENCELADE	12/06/71	TUREIA	0,9 (90 mrem)	0,003 (0,3 mrem)	0,43 (43 mrem)	1,3 (130 mrem)
PHOEBÉ	08/08/71	GAMBIER	0,9 (90 mrem)	0,002 (0,2 mrem)	0,24 (24 mrem)	1,2 (120 mrem)
CENTAURE	17/07/74	TAHITI (Mahina)	0,6 (60 mrem)	0,08 (8 mrem)	0,06 (6 mrem)	0,8 (80 mrem)

Le rapport CEA de 2006 comporte une carte (cf page suivante) mentionnant les retombées qui ont entraîné une dose supérieure à 0,1 milliSievert.

Pour Tureia, 4 retombées entrent dans cette catégorie : 1966 (0,35 mSv), 1967 (0,90 mSv), 1970 (0,17 mSv) et 1971 (1,3 mSv).

Le rapport² de 2006 du ministère de la défense [MD 2006] « La dimension radiologique des essais nucléaires français en Polynésie » indique page 271 : « Les retombées sur Tureia ont été consécutives aux essais Rigel du 24 septembre 1966, Arcturus du 2 juillet 1967 et Encelade du 12 juin 1971 ».

Ce document propose une évaluation des doses subies par les habitants de Tureia à l'issue de ces 3 retombées. Le tableau 3 ci-dessous reprend les évaluations concernant l'essai ARCTURUS. Ces évaluations intègrent le groupe des enfants de 1 à 2 ans.

Tableau 3 / Evaluation des doses (mSv) suite aux retombées de l'essai Arcturus à Tureia (MD, 2006, page 275)

Doses (mSv)	Enfants de 1 à 2 ans		Adultes	
	Dose efficace	Dose thyroïde	Dose efficace	Dose thyroïde
Inhalation (1)	0,019 - 0,11	0,23 - 1,38	0,012 - 0,07	0,1 - 0,63
Exposition externe au panache (1)	1,7.10 ⁻³ - 9,9.10 ⁻³		1,7.10 ⁻³ - 9,9.10 ⁻³	
Exposition externe au dépôt (2)	0,7		0,7	
Consommation d'eau (3)	0,11	1,24	0,03	0,29
Consommation de végétaux (4)	0,018 - 0,019	0,2 - 0,22	0,013 - 0,014	0,13 - 0,14
Consommation de produits marins (5)	0,049 - 3,05	0,56 - 34,6	0,033 - 2,38	0,34 - 23,5
Bilan	0,9 - 4,0	2,2 - 37,4	0,8 - 3,2	0,9 - 24,6

²[http://www-dam.cea.fr/dossiers/Mururoa/img/La dimension radiologique des essais nucleaires francais en Polynesie.pdf](http://www-dam.cea.fr/dossiers/Mururoa/img/La_dimension_radiologique_des_essais_nucleaires_francais_en_Polynesie.pdf)

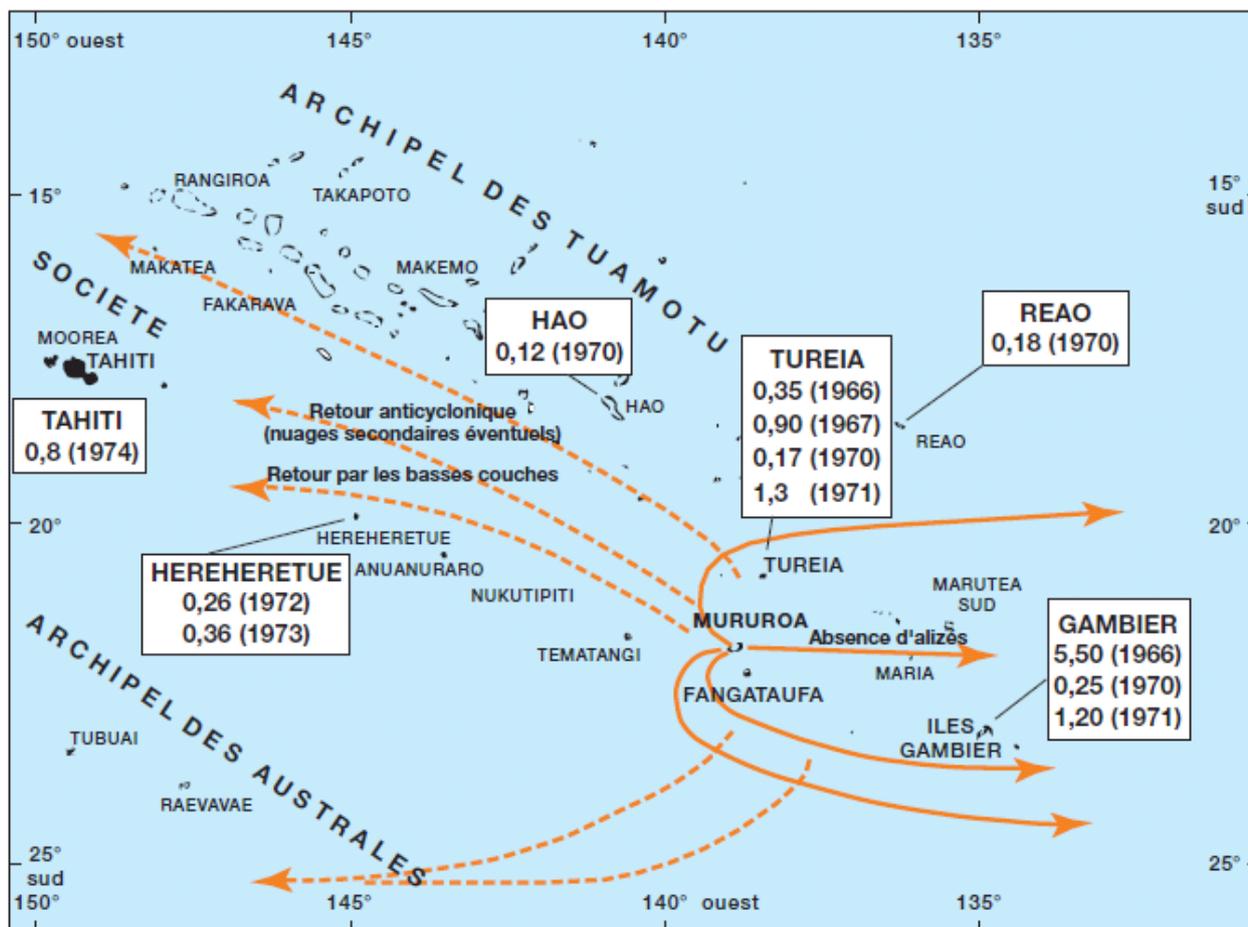
On notera que, selon ces évaluations officielles, **la dose à la thyroïde a pu dépasser largement la limite** de 15 mSv/an - qui était à l'époque la limite sanitaire au sens du décret 66-450 du 20 juin 1966.

Ainsi, suite aux retombées du tir Arcturus :

- les **enfants âgés de 1 à 2 ans** de Tureia ont pu recevoir une dose de **37,4 mSv** à la thyroïde (soit une valeur près de 2,5 fois supérieure à la limite),
- et les adultes, une dose de 24,6 milliSieverts (soit une valeur supérieure de 60 % à la limite),

Comme nous l'expliquerons ci-après, les doses réellement subies par la population de Tureia sont nettement supérieures.

Carte 1 / Doses en mSv correspondant aux retombées des essais atmosphériques français (1966-1974) dont les niveaux, sur les îles habitées sont supérieurs à 0,1 mSv (CEA, 2006, page 436)



Une contamination quasi continue de l'air ambiant

Les 3 rapports mentionnés ci-dessus laissent penser que l'atoll de Tureia n'a été touché que par les retombées issues de 4 tirs sur 41. En réalité, l'examen des documents déclassifiés montre que des retombées radioactives sont intervenues pendant de nombreuses autres campagnes de tir.

Le graphique 1 ci-après donne l'**activité bêta globale** de l'air ambiant obtenue par comptage des **filtres** des préleveurs d'air de type APA 1 correspondant à des prélèvements de 24 heures entre juillet et décembre 1966. Les résultats sont donnés en pCi/m³ (picoCurie par mètre cube) ce qui correspond à 0,037 Bq/m³.

S'agissant de Tureia, le rapport publié en 2006 par le Ministère de la défense ne prenait en compte pour l'année 1966, que les retombées d'un seul tir, le tir Rigel effectué le 24 septembre 1966. Ces retombées figurent en bleu sur le graphique 1.

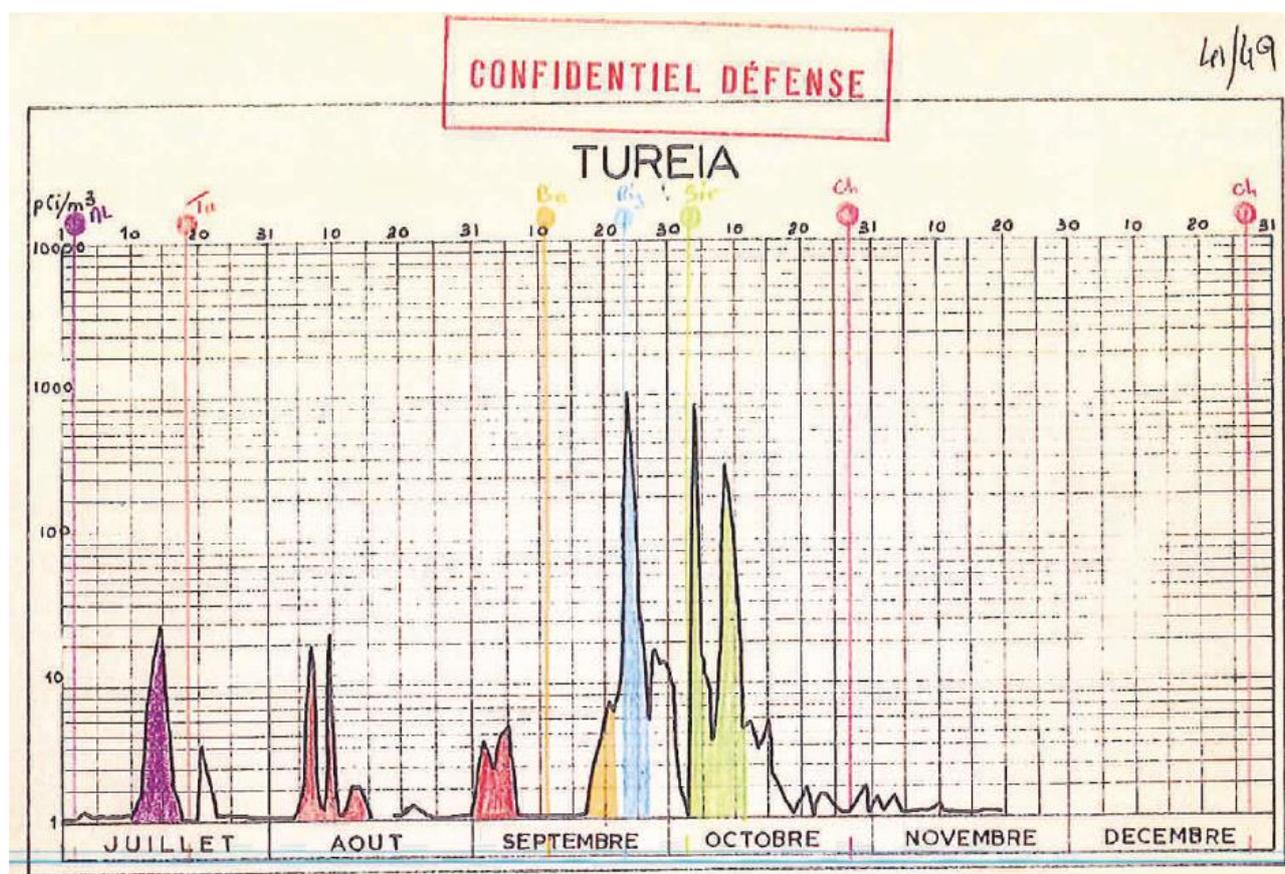
Mais on constate que les habitants de Tureia ont été exposés en réalité aux retombées des **5 tirs de l'année 1966** et non pas d'un seul : Aldébaran et Tamouré en juillet, Betelgeuse et Rigel en septembre, Sirius en octobre.

Selon les cas, on enregistre une forte contamination radioactive de l'air immédiatement après le tir, dans le cadre des retombées immédiates secondaires comme par exemple les 24 et 25 septembre après le tir Rigel (en bleu) ou du 4 au 6 octobre après le tir Sirius (en vert clair). Mais la contamination peut intervenir dans certains cas plusieurs jours après le tir comme l'illustre le graphique pour le tir Aldebaran du 2 juillet (en mauve). Une retombée différée indirecte est en effet « détectée par l'ensemble des postes du réseau polynésien les 13, 14 et 15 juillet, soit environ 12 jours après le tir »

Le tir Tamouré du 19 juillet (en rouge) donnera lieu à des retombées différées directes « détectées sur toute la Polynésie à partir du 5 août en plusieurs vagues ». Le graphique montre l'arrivée de cet air contaminé sur Tureia du 4 août au 5-6 septembre.

Graphique 1 / Radioactivité bêta globale des aérosols (sur 24 heures) à Tureia lors de la campagne de tirs de 1966 (N°57-94)

Rappel $100 \text{ pCi/m}^3 = 3,7 \text{ Bq/m}^3$



La très forte contamination des eaux de pluie

L'exploitation des documents déclassifiés est complexe car ils contiennent des informations contradictoires.

Par exemple, dans le cas du tir Rigel du 24 septembre 1966, les retombées différées indirectes, ont entraîné de « Nombreuses précipitations fortement radioactives sur l'Est de la Polynésie, le 26 septembre » atteignant à Tureia $0,7 \mu\text{Ci/cm}^3$ selon la page 4 du document N°57-94 (extrait reproduit page suivante).

Mais la page 7 de ce même document indique une contamination de $0,7 \cdot 10^3 \text{ pCi/cm}^3$ soit une valeur 1 000 fois plus faible.

Dans le premier cas il s'agit de **25,9 millions de Becquerels par litre**, dans le second de **25 900 Bq/l**.

L'ingestion d'un seul litre de cette eau conduit à des risques sanitaires non négligeables (fourchette basse) et pouvant être inacceptables (fourchette haute). Pour effectuer une évaluation précise, il faudrait avoir accès à la composition isotopique du cocktail de radionucléides présents.

Illustration 1 / Extrait des pages 4 et 7 du document déclassifié N°57-94

<p>Détectée par le poste de MANGAREVA le 26 septembre ! Niveau : 100 pCi/m³. Nombreuses précipitations fortement radioactives ! sur l'Est de la Polynésie le 26 septembre, attei- ! gnant 3 Ci/cm³ à MANGAREVA 0,7 Ci/cm³ à TUREIA</p>	<p><u>Cas particulier du tir RIGEL</u> Seul le poste de MANGAREVA a détecté le 26 septembre, sur filtre, une retombée indirecte, mais tous les postes ont enregistré aux mêmes dates des précipitations radioactives d'un niveau élevé dans la zone est (MANGAREVA 3.10³ pCi/cm³ et TUREIA 0,7.10³ pCi/cm³ le 26 septembre).</p>
--	---

Exemple du tir Arcturus du 2 juillet 1967

Pour cette première phase de l'étude préliminaire, nous avons choisi de commencer l'examen des données concernant les retombées du tir Arcturus du 2 juillet 1967.

En effet, les résultats des examens anthropogammamétriques effectués à Hao sur 14 habitants de Tureia entre le 4 et le 13 juillet 1967 ont été classés « indice C > 5 » ce qui correspondait à une dose importante selon le CEA.

L'essai Arcturus est décrit dans le rapport CEA-R-6136 dont l'extrait correspondant est reproduit en Annexe 2.

Les doses officielles subies par les adultes et les enfants de 1 à 2 ans (doses efficaces et doses à la thyroïde) sont reproduites dans le tableau 3 et la méthodologie appliquée est décrite en Annexe 3.

Nous allons montrer ci-dessous que ces évaluations officielles conduisent à une sous-évaluation importante des doses réelles.

Exposition externe suite aux retombées

G. Bourges estime la dose par exposition externe à 0,7 mSv soit **700 µSv** (tableau 2), mais ne donne pas le détail de cette estimation.

Le document [MD 2006] retient 700 µSv pour l'exposition externe au dépôt et 1,7 à 9,9 µSv pour l'exposition externe au panache (tableau 3).

Les principaux résultats concernant la mesure du débit de dose gamma ambiant issus du rapport déclassifié N°28-58 sont reproduits dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 / débit de dose enregistré lors des retombées du 2 juillet 1967 à TUREIA

02/07/1967 (en fin de retombées H+11.30) / intégrant la contamination des parois de la chambre	3	mrads/h	30	µSv/h
02/07/1967 (en fin de retombées H+11.30) /après déduction de la contamination des parois de la chambre	1,5	mrads/h	15	µSv/h
02/07/1967 (en fin de retombées H+11.30) / films dosimètres	1,6	mrads/h	16	µSv/h
2/7/1967 recalculé à H+1 à TUREIA (0,030 Rad/h)	30	mrads/h	300	µSv/h
Dose cumulée par le personnel jusqu'au 6 juillet	35	mrem	0,35	mSv 350 µSv
Dose externe prise par la population pendant l'année suivant l'arrivée de la retombée sera au maximum de	75	mrem	0,75	mSv 750 µSv
Facteur de décroissance entre H+1 et H+11.30 si loi en t ^{-1,2} (si H en heures)	16,8			(Le ratio 30 mrad/h sur 1,6 mrad/h donne un facteur 18,75)

D'après ces mesures officielles, la retombée est intervenue de H+8h36 à H+11h40 (H est l'heure de détonation de l'engin).

Le débit de dose gamma aurait atteint **30 µSv/h** en fin de retombée soit une valeur 1 000 fois supérieure au niveau naturel³, mais une part de ce résultat serait due à la contamination des parois de la chambre d'ionisation, la valeur corrigée étant estimée à **15 µSv/h**.

Le CEA considère que la radioactivité induite par un mélange de produits de fission à l'issue d'une explosion diminue en suivant sensiblement une loi en t^{-1,2} (où le temps t est exprimé en heure). Cette loi s'applique de

³Pour l'année 1994 par exemple, le SMSRB (Service Mixte de Surveillance Radiologique et Biologique) estime l'exposition externe annuelle cumulée à 297 µGy à Tureia, ce qui correspond à 0,03 µSv/h.

H+1heure jusqu'à au moins 6 mois. Cela signifie que lorsque le temps est multiplié par 7, la radioactivité décroît d'un facteur 10.

En appliquant cette loi on obtient un débit de dose résiduel de 0,4 $\mu\text{Sv/h}$ au bout de 10 jours et on peut évaluer la dose externe cumulée au bout d'un an après la retombée à environ 800 microSieverts (pour une présence de 100 % en extérieur). Cette estimation est donc cohérente avec la valeur de 700 microSieverts (tableau 2).

Cependant ce résultat ne rend pas compte de l'exposition réelle des populations car certaines composantes sont omises :

- **Les phénomènes d'accumulation des radionucléides ne sont pas pris en compte.**

Par exemple du fait du gouttage le long des toitures ou le long des feuillages (cocotier). Le débit de dose à proximité des secteurs d'accumulation peut être très nettement supérieur à celui enregistré en un lieu dégagé. Les rayonnements gamma étant particulièrement pénétrants, l'exposition induite dans les habitations par les radionucléides accumulés dans les citernes de collecte des eaux de pluie peut être, par exemple, nettement supérieure à celle retenue pour les calculs d'exposition officiels.

- **La dose à la peau n'est pas prise en compte**

La majorité des produits de fission et des produits d'activation présents dans les retombées émettent des rayonnements bêta.

L'analyse du spectre gamma effectué sur les poussières du bac à résine indique que l'activité provenait principalement, par ordre décroissant, des radionucléides : Mo 99, Te132-I132, Ba140-La 140, I 133, I 131, Nb97. Or tous ces radionucléides émettent des rayonnements bêta. Par ailleurs les gaz rares émetteurs bêta et la fraction gazeuse des halogènes émetteurs bêta (comme l'iode 131) ne sont pas correctement comptabilisées dans le bac à résine.

Pour les personnes exposées aux retombées, la **dose à la peau** a pu être significative, d'autant que des particules chaudes ont pu être présentes dans les retombées.

Le CEA⁴ indique « *une contamination cutanée persistante n'est pas tolérée, les équipements (combinaisons, gants) permettent de la limiter et le passage obligatoire à la douche en sortie de zone contrôlée permet dans la quasi-totalité des cas de l'éliminer* ». Mais il est peu probable que les habitants de Tureia aient bénéficié de telles mesures de protection.

- L'estimation est faite en considérant un dépôt initial qui décroît ensuite au cours du temps, mais il n'intègre pas la survenue **d'autres dépôts au cours de l'année** du fait des retombées des essais de l'année en cours ou des retombées différées des essais des années antérieures. En l'absence de résultats de mesure en continu, on ne peut vérifier ce qu'il en est.

Exposition interne par inhalation suite aux retombées

G. Bourges estime la dose par inhalation à 23 μSv (tableau 2) sur la base d'une exposition de 8 000 Bq/m³ d'un mélange de produits de fission, mais ce chiffre n'est pas justifié dans le rapport.

Le document [MD 2006] estime cette dose entre 12 et 70 μSv (tableau 3). Cette dose est calculée à partir d'un indice bêta global des aérosols atmosphériques pendant le passage du nuage. Deux valeurs sont proposées : de **5 000 Bq/m³ à 30 000 Bq/m³** en moyenne.

L'activité volumique de l'air est déduite d'un indice bêta global du dépôt estimé à **16 millions de Bq/m²** et de deux vitesses de dépôt : $5 \cdot 10^{-2}$ et $3 \cdot 10^{-1} \text{ ms}^{-1}$. Il est précisé que cet intervalle de valeur prend en compte les incertitudes sur la granulométrie de l'aérosol atmosphérique composant le nuage radioactif.

Le document N°28-58 donne un dépôt recueillis sur les bacs à résine entre 8.00W le 2 juillet et 08.00 W le 3 juillet de $0,92 \cdot 10^{-4} \text{ Ci/m}^2$ (activité ramenée à H+11h30) ce qui correspond à **3,4 millions de Bq/m²**. Ce chiffre n'est pas cohérent avec l'indice bêta global du dépôt estimé à 16 millions de Bq/m².

Il sera nécessaire d'interroger les autorités militaires pour obtenir le détail de ces calculs.

On peut cependant noter d'ores et déjà que la méthodologie officielle conduit à sous-estimer l'exposition réelle pour plusieurs raisons :

⁴ [CEA 2006], page 72

- Le calcul est fait en ne considérant que l'inhalation de substances radioactives **pendant le passage du « nuage » (inhalation due au panache)**. Elle ne tient pas compte de l'inhalation qui se produira après les retombées du fait de la **remise en suspension** à partir du sol ou des embruns. Le CEA justifie cette omission en affirmant : « *Le nuage passé, il reste la remise en suspension de la radioactivité déposée au sol dont l'impact est lui aussi très limité car le facteur de remise en suspension en atmosphère humide en présence de fortes granulométries est faible* » [CEA 2006, p 63].

Pourtant le document déclassifié N°28-58 indique (pour l'essai Arcturus) que la valeur du dépôt évaluée à partir des filtres APA 100 « *correspond à la moitié environ de ce qui a été retrouvé sur les bacs à résine. La différence entre ces deux valeurs est normale puisque l'APA n'aspire pas les poussières très fines.* ».

- Cette affirmation indique que certaines des particules radioactives sont de **très faible granulométrie** et pourront donc être facilement remises en suspension dans le futur. Elle rappelle en outre que les filtres à aérosol ne retiennent pas la fraction la plus fine des radionucléides, alors que c'est celle qui présente les risques radiologiques les plus importants car les particules fines pénètrent en profondeur dans l'appareil respiratoire.
- Elle ne prend pas en compte l'inhalation des **gaz rares radioactifs** ou de la **fraction gazeuse des halogènes** radioactifs comme l'iode 131.
- Elle ne considère pas les risques de présence de **particules chaudes et de microfragments** de forte activité.
- Elle ne prend pas en compte un certain nombre de radionucléides comme le **tritium**, le **carbone 14** ou les radionucléides **émetteurs alpha** isotopes de l'uranium, du plutonium et transuraniens qui sont pourtant particulièrement radiotoxiques par inhalation.

Le document N°28-58 indique que « *aucune contamination par émetteurs alpha n'a été décelée* » sur les bacs à résine contrôlés à l'issue des retombées du 2 juillet 1967. Pourtant, l'analyse de boues⁵ prélevées en octobre 2005 par le laboratoire de la CRIIRAD au fond d'une citerne de recueil des eaux pluviales a révélé une contamination résiduelle par de l'américium 241 (11 Bq/kg sec) qui est un radionucléide émetteur alpha et gamma.

Conclusions

L'examen très préliminaire d'une modeste fraction des documents déclassifiés montre que les habitants de Tureia ont subi des doses de radiation largement supérieures aux limites sanitaires en vigueur à l'époque. Mais les documents sont incomplets et parfois contradictoires.

Pour aller plus loin et effectuer une évaluation réaliste des doses réellement subies, la CRIIRAD recommande que soit constitué un groupe de travail regroupant les représentants des populations et des travailleurs affectés par les retombées, les représentants des autorités Polynésiennes et les représentants des autorités militaires et du CEA.

Il s'agira d'obtenir des réponses aux questions techniques concernant les mesures effectuées à l'époque, la composition des spectres de radionucléides, les modes de vie des habitants, etc.

La CRIIRAD recommande que ce travail soit précédé d'une formation des représentants associatifs aux notions de physique nucléaire et de radioprotection afin qu'ils puissent participer activement au processus d'analyse critique des documents déclassifiés.

Rédaction : Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire, directeur du laboratoire de la CRIIRAD.

Contact : bruno.chareyron@criirad.org

⁵ Ces boues contenaient également du césium 137 (53,7 Bq/kg sec).

<http://www.criirad.org/actualites/dossiers2006/polynesie/rapcriiradpolynesiejanv2006.pdf>

ANNEXE 1 / Documents déclassifiés consultés par la CRIIRAD

Pour cette phase préliminaire, une première sélection des documents disponibles a été effectuée en fonction de leur titre. Il s'agit des rapports suivants :

- N°28-58 (juillet 1967) : Bilan des **mesures physiques** concernant Tureia. Ce rapport dresse un bilan de toutes les mesures physiques suite aux retombées liées au tir Arcturus du 2 juillet **1967**. Il s'agit des :
 - mesures de débit de dose gamma du 2 au 5 juillet 1967
 - mesures de l'activité bêta de l'air sur filtre des préleveurs APA 1 et APA 100, du 1 au 9 juillet 1967
 - Mesures de l'activité gamma de l'eau de mer du 2 au 6 juillet
 - Mesure de l'activité bêta de l'eau de pluie
 - Mesure des prélèvements sur bacs à résine

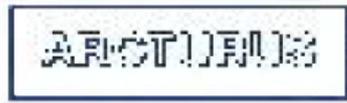
Curieusement, les annexes 5 (spectre de prélèvement d'air) et 6 (spectre gamma des prélèvements sur bacs à résine) ont été supprimées de ce document, mais sont accessibles dans le document N°53-58 qui est équivalent au N°28-58.

- N°39-58 (août 1970) : Evolution de la contamination en 137 Cs des **noix de cocotier** (Hao, Reao, Tureia, Iles Gambier), de septembre **1967** à avril **1970**.
- N°8-58 (1967) : contamination de la chair de **bénitier** à Tureia (a priori en décembre **1967**).
- N°54-58 (juillet 1970) : Fiche sur la retombée du tir « dragon » à Tureia. Ce document comporte des résultats de mesure de débit de dose, et une évaluation des dépôts.
- N°40-58 (décembre **1971**) : Etude de la contamination de Tureia après le tir ENCELADE. Ce document comporte des résultats d'analyse sur :
 - Eau de boisson : analyse par spectrométrie gamma sur échantillons du 13 juin au 30 juillet 1971
 - Prélèvements alimentaires de Juin 1971 (bénitier et poissons)
 - Prélèvements alimentaires de Juillet 1971 (coco, uru, papaye, bénitier, poisson)
 - Mesures « Ambiance » portant sur une plante (le scaevola), l'eau du lagon et du sable.
- N°12-58 (août **1971**) : Etude de la dose absorbée en **contamination interne** par les habitants de Tureia au cours du mois suivant le tir ENCELADE.
- N°19-28 (1977) : Etude de la radiocontamination du **bénitier** (*Tridacna maxima*) à Tureia de juin 1971 à avril 1973
- N°57-94 (mars 1967) : Rapport sur l'évolution de la radioactivité en Polynésie due aux retombées des explosions françaises au Pacifique

ANNEXE 2
Essai ARCTURUS du 2 juillet 1967
(extrait de 4 pages du rapport CEA-R-6136 de Juin 2006)

LES ATOLLS DE MURUROA ET DE FANGATAUFA

185



Date : 2 juillet 1967 à 7h30 W (17h30 TU)
Lieu : Mururoa - Zone Denise
Type de tir : Sur barge mouillée en lagon
Énergie : 22 kt
Coordonnées géographiques du point zéro :
21° 47' 11" S
139° 53' 33" W
Altitude : 3 m
Distance au PEA Denise : 700 m



Généralités : Le vent au sol vient du nord-nord-est (6 m/s du 30). Entre 5 000 et 9 000 m il tourne à l'ouest-sud-ouest (15 m/s du 250). Sa vitesse est maximale à 13 000 m (31 m/s du 260). La base du nuage est à 7 000 m, son sommet à 15 000 m sous une tropopause située à 15 200 m.

Deux missions de pénétration pilotée du nuage sont effectuées vers 9 heures entre 19 000 et 22 000 pieds donc à la base de la tête.

Conséquences radiologiques sur les sites d'expérimentations : On peut distinguer deux axes de la retombée de pied :

- l'un vers le nord-est dû aux vents en altitude,
- l'autre vers le sud-ouest dû aux vents des basses couches.

Cinq missions de reconnaissance radiologique sont déclenchées, quatre héliportées et une par voie terrestre.

- La mission de reconnaissance RAD1 est réalisée entre H+1 et H+1h30 à partir du *TCD Ouragan*, et suit un itinéraire passant par Viviane-Giroflée-Françoise-Kathie. Au retour l'hélicoptère Alouette III présente une contamination de $5 \cdot 10^{-4}$ Ci/m².
- La mission RAD 3 effectue la reconnaissance de la zone Nord par un trajet Anémone-Kathie-Camélia-Denise-Anémone.
- RAD 4 entre H+5h10 et H+6h15 est chargé d'établir la première cartographie de la radioactivité du lagon, le niveau trop élevé de radioactivité ne permet pas l'utilisation d'une embarcation.
- RAD 5 entre H+5h10 et H+6h45 situe la position de l'axe chaud.
- La mission TER décolle du *TCD Ouragan* à H+1, rejoint le PCT où entre H+2 et H+4, elle reconnaît par voie terrestre la zone Kathie, la piste aviation puis la route vers Denise.

L'ensemble de ces investigations conduit à l'établissement de la situation radiologique de Mururoa (fig. 86 et 87).

La retombée du bas du pied du nuage atteint la zone Sud de Mururoa entre Dindon et Fuchsia. On note la présence d'un point très actif, supérieur à 1 000 rads/h à H+1, entre Faucon et Iris. En zone terrestre Denise, la radioactivité est élevée, 25 rads/h à H+1. La piste d'aviation et la zone portuaire sont peu touchées.

Au point zéro, à H+2, la radioactivité de l'eau du lagon atteint $7,4 \text{ Ci/m}^3$ en zone Denise. La radioactivité reste localisée dans la partie nord-est du lagon.

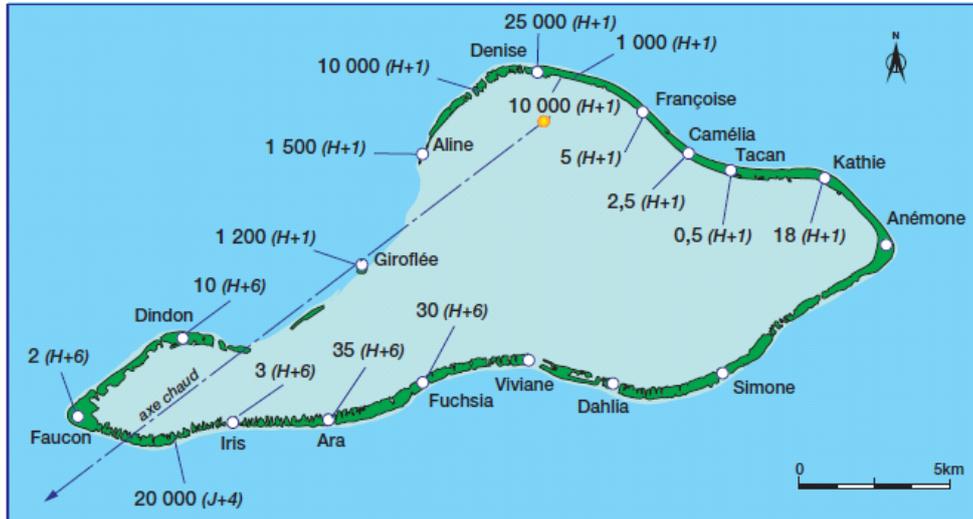


FIG. 86. - Débits de dose à 1mètre du sol (valeurs en mrad/h).

L'atoll de Fangataufa demeure habité pendant l'essai, avec la présence d'un agent de radioprotection du SMSR.

Pendant la nuit, le *BSL Rance* et le *TCD Ouragan* croisent entre Mururoa et Fangataufa. À l'aube de J+1 l'*Ouragan* se rend à Tureia tandis que *la Rance* vient s'emboîser à Fangataufa à la culée du PEA Frégate d'où partent les jours suivants les missions de suivi de la radioactivité de Mururoa. L'évolution de la radioactivité du lagon est lente et ne permet le retour des bateaux et la réoccupation normale du site que le 31 juillet, date à laquelle la radioactivité du lagon est revenue à 10^{-4} Ci/m^3 en zone aéroportuaire. Trois jours avant cette date, le *BSL Rance* se positionne à Dindon, ce qui facilite les dernières missions de reconnaissance avant la réouverture du site. Le travail en zone Denise ne reprend que le 7 août après décontamination du blockhaus et de ses abords et sous contrôle radiologique strict.

Les doses maximales reçues sont celles des pénétrations pilotées (4 personnes) qui s'échelonnent entre 1,5 et 2,5 rems (15 à 25 mSv) et de la mission de reconnaissance terrestre "TER" avec 0,5 rem (soit 5 mSv).

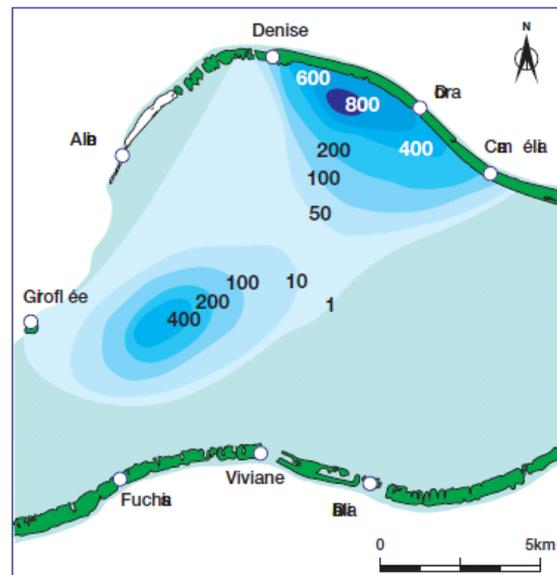


FIG. 87. - Débits de dose à 1mètre au-dessus des eaux du lagon à H+28 (valeurs en mrad/h).

Retombées proches (conséquences en Polynésie Française) : La prévision de retombée effectuée dans la nuit du jour J donne un panache passant à une dizaine de km à l'est de l'atoll de Tureia. L'évolution des vents au moment du tir décale légèrement la retombée vers le nord-ouest et de ce fait sa bordure touche cet atoll le jour J entre 16 h et 19 h.

Le niveau de radioactivité atmosphérique est de $1\ 600\ \text{pCi}/\text{m}^3$ et le débit de dose atteint $3\ \text{mrad}/\text{h}$; les habitants sont à l'abri dans les blockhaus pendant la retombée, la dose totale reçue est de l'ordre de $100\ \text{mrem}$ ($1\ \text{mSv}$).

Cette retombée est perçue jusqu'à Hao ($20\ \text{pCi}/\text{m}^3$ dans l'air).

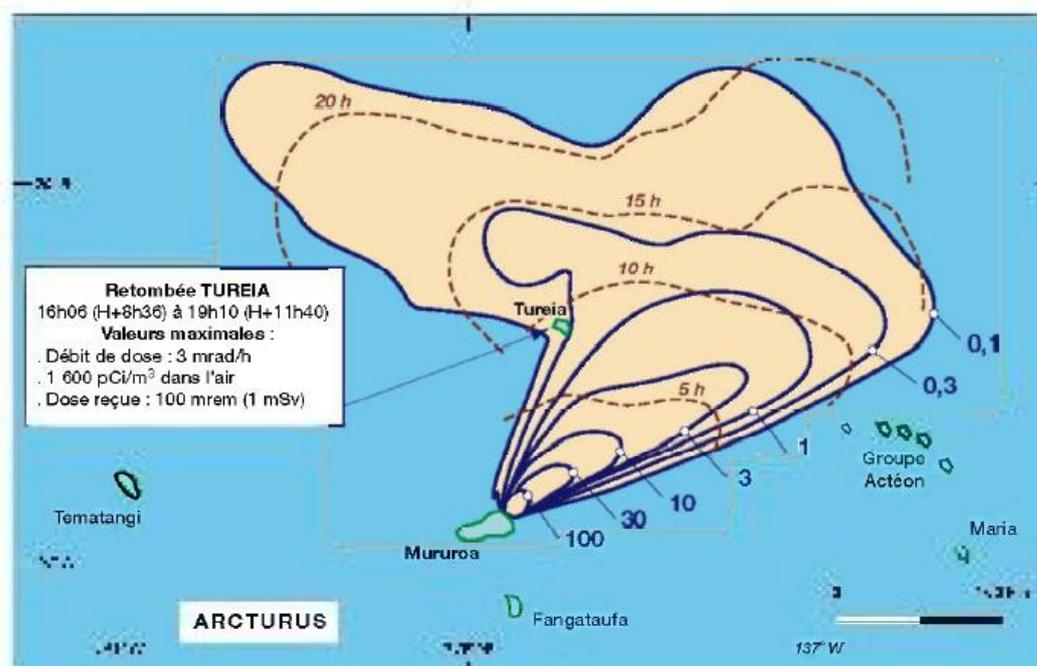


Fig. 88. - Retombées proches : iso-débits de dose en rad/h (valeurs à H+1) et isochrones en heures. Tracés réalisés avec les vents réels après H.

De nombreux bateaux rencontrent des bouffées de radioactivité atmosphérique. Les heures et le niveau maximal de détection ainsi que la distance au point zéro sont donnés dans le tableau ci-après :

<i>Le TCD Ouragan</i>	à H+4	$6,5 \cdot 10^{-8}\ \text{Ci}/\text{m}^3$ à 22 km, au large de Faucon
	H+5	$5 \cdot 10^{-9}\ \text{Ci}/\text{m}^3$ à 19 km
<i>Le BSL Rance</i>	à H+4	$1,9 \cdot 10^{-10}\ \text{Ci}/\text{m}^3$ à 17 km
	H+7	$6 \cdot 10^{-10}\ \text{Ci}/\text{m}^3$ à 20 km, il rencontre une tache d'eau radioactive
	H+14	$2 \cdot 10^{-10}\ \text{Ci}/\text{m}^3$

<i>L'Argens</i>	: à H+9	$2 \cdot 10^{-8}$ Ci/m ³ à 59 km
	H+10h30	$4 \cdot 10^{-8}$ Ci/m ³ à 84 km
	H+12h30	10^{-8} Ci/m ³ à 103 km
	J+1	$4 \cdot 10^{-10}$ Ci/m ³ à 272 km
<i>La Dives</i>	: à H+12	$1,4 \cdot 10^{-10}$ Ci/m ³ entre Mururoa et Fangataufa
	J+1	10^{-8} Ci/m ³ à 49 km
<i>Le Maine</i>	: à H+6	$8 \cdot 10^{-10}$ Ci/m ³ à 56 km
	H+10h30	$8,5 \cdot 10^{-8}$ Ci/m ³ à 88 km
	H+11h30	$4 \cdot 10^{-9}$ Ci/m ³ à 108 km
	J+1	$1,2 \cdot 10^{-9}$ Ci/m ³ à 253 km
<i>La Maurienne</i>	: à J+1	10^{-9} Ci/m ³ à 254 km

Retombées mondiales : Par un processus de dérivation vers le nord-ouest, une montée de radioactivité est observée le 3 juillet sur la Polynésie et le 7 juillet aux îles Samoa avec une valeur maximale de radioactivité atmosphérique de 30 pCi/m³ ainsi qu'aux îles Fidji les 14 et 20 juillet (valeur maximale 5 pCi/m³).

L'essai ARCTURUS est le dernier essai sur barge. Tous les essais sous ballon qui vont lui succéder ont des retombées proches beaucoup moins contraignantes en terme de radioprotection et de moyens opérationnels.

En effet, la courbe 0,1 rad/h à H+1 est celle qui correspond à une dose de 500 mrem (5mSv), limite annuelle d'exposition, recommandée pour les populations or celle-ci ne s'étend généralement pas au-delà d'une centaine de kilomètre des sites d'essais. Ce mode de tir sous ballon réduit donc considérablement le niveau des retombées locales.

ANNEXE 3

Retombées sur TUREIA suite à l'essai ARCTURUS du 2 juillet 1967 (extrait de 2 pages du rapport du Ministère de la Défense 2006)

274

PROTECTION DES TRAVAILLEURS ET DES POPULATIONS

ESSAI ARCTURUS

L'essai Arcturus d'une énergie de 22 kt a été effectué à Mururoa, le 2 juillet 1967, à 7h30, heure locale, sur une barge ancrée dans le lagon. Pendant l'essai, un vent au niveau du sol venait du nord-nord-est, alors que de 5 000 à 9 000 mètres d'altitude, sa direction était de ouest-sud-ouest avec une vitesse de 15 m.s⁻¹. La vitesse maximale du vent mesurée à 31 m.s⁻¹ était observée à 13 000 mètres. Ces conditions météorologiques ont entraîné le nuage radioactif vers l'île de Tureia, à 110 km au nord de Mururoa. Le 4 juillet, entre 16h10 et 19h10, Tureia est atteint par les retombées. Ce même jour, 2,5 mm de pluie sont tombés sur l'atoll. Ces retombées ont été confirmées par les mesures effectuées dans les différentes composantes de l'environnement et de la chaîne alimentaire.

Atmosphère

Un indice bêta global maximum de 9,25 Bq.m⁻³ a été enregistré à Tureia, accompagné d'un débit de dose 50 µGy.h⁻¹.

Dépôt au sol

Le 4 juillet, le débit de dose dû aux dépôts a été mesuré entre 3 à 10 µGy.h⁻¹ ce qui correspondait, à des activités surfaciques calculées comprises entre 1,30 et 4,45.10⁶ Bq.m⁻². Cette dernière valeur correspondait à un dépôt de 1,60.10⁷ Bq.m⁻² le 2 juillet 1967 à la fin des retombées. L'indice bêta global mesuré entre 3,3.10⁵ et 35.10⁵ Bq.m⁻² sur des bacs collecteurs des retombées conforte ces estimations. L'indice bêta global de l'eau de pluie collectée le 4 juillet s'élevait à 4,8.10⁴ Bq.l⁻¹.

Eau de boisson

L'indice bêta global de l'eau de la citerne permettant l'adduction d'eau était de 11 à 74 Bq.l⁻¹ le 4 juillet, avant l'arrivée de la pluie, et de 2 400 Bq.l⁻¹ le 5 juillet.

Végétaux

L'indice bêta global mesuré sur des échantillons de fruits d'arbre à pain (*uru*) et de papayer était respectivement de 4,72.10³ et 4,42.10³ Bq.kg⁻¹ frais, le 5 juillet.

Mollusques et crustacés

La valeur maximale de l'indice bêta global de 6,93.10⁵ Bq.kg⁻¹ frais a été mesurée le 5 juillet dans la chair d'un bénitier prélevé le 3 juillet. L'indice bêta global de la chair d'un turbo prélevée le 11 juillet était de 2,02.10³ Bq.kg⁻¹ frais.

Poissons

L'indice bêta global le plus élevé, 1,66.10⁴ Bq.kg⁻¹ frais, a été mesuré dans la chair d'un poisson chirurgien prélevé le 11 juillet. L'indice bêta global de la chair d'un poisson perroquet prélevé le 6 juillet était de 3,08.10³ Bq.kg⁻¹ frais, à la date du 11 juillet ; celui d'un mérou prélevé le 3 juillet était de 1,3.10³ Bq.kg⁻¹ frais, au 5 juillet.



Prélèvement de végétaux-feuilles à Tureia.

ESTIMATION DE L'EXPOSITION DE LA POPULATION DE TUREIA

Les doses ont été estimées à partir des résultats de mesure de la radioactivité et pour les différentes voies d'atteinte : inhalation, exposition externe, consommation de produits locaux (Tableau 59).

TABLEAU 59.
Évaluation des doses (mSv) suite aux retombées de l'essai Arcturus à Tureia.

Doses (mSv)	Enfants de 1 à 2 ans		Adultes	
	Dose efficace	Dose thyroïde	Dose efficace	Dose thyroïde
Inhalation (1)	0,019 - 0,11	0,23 - 1,38	0,012 - 0,07	0,1 - 0,63
Exposition externe au panache (1)	1,7.10 ⁻³ - 9,9.10 ⁻³		1,7.10 ⁻³ - 9,9.10 ⁻³	
Exposition externe au dépôt (2)	0,7		0,7	
Consommation d'eau (3)	0,11	1,24	0,03	0,29
Consommation de végétaux (4)	0,018 - 0,019	0,2 - 0,22	0,013 - 0,014	0,13 - 0,14
Consommation de produits marins (5)	0,049 - 3,05	0,56 - 34,6	0,033 - 2,38	0,34 - 23,5
Bilan	0,9 - 4,0	2,2 - 37,4	0,8 - 3,2	0,9 - 24,6

- (1) Les doses dues à l'inhalation et à l'exposition externe au panache sont estimées à partir de l'indice bêta global du dépôt ($1,6 \cdot 10^7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$) et de deux vitesses de dépôt, $5 \cdot 10^{-2}$ et $3 \cdot 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Cet intervalle de valeurs prend en compte les incertitudes sur la granulométrie de l'aérosol atmosphérique composant le nuage radioactif. Les indices bêta global des aérosols atmosphériques sont estimés, selon la vitesse de dépôt, entre $3 \cdot 10^4$ et $5 \cdot 10^3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, en moyenne, pendant le passage du nuage. La dose maximale correspond à la vitesse de $5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et la dose minimale à $3 \cdot 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Les doses sont calculées avec l'hypothèse que les populations étaient à l'extérieur des habitations pendant le passage du panache et ne disposaient d'aucune protection particulière.
- (2) Les doses dues à l'exposition externe par le dépôt sont calculées pour une durée d'intégration de six mois, en supposant que les personnes passaient les deux tiers du temps à l'extérieur des habitations.
- (3) Les doses dues à la consommation d'eau de boisson correspondent à la valeur maximale mesurée. L'activité de l'eau est supposée décroître selon la décroissance radioactive des radionucléides qu'elle contient et dont le spectre est identique à celui de l'aérosol atmosphérique et du dépôt. Les doses sont calculées pour une consommation d'eau d'un mois à partir de l'arrivée du front de retombées. Au-delà, l'activité de l'eau est considérée comme négligeable.
- (4) La dose est due à la consommation de légumes-fruits et de fruits produits localement. Il n'y a pas de production de légumes-feuilles à Tureia.
- (5) La borne supérieure de l'intervalle est la dose due à la consommation des produits de la mer dont les résultats de mesure de l'activité sont plus élevés (poissons chirurgiens et bénéitiers) car pêchés dans le lagon. La borne inférieure de l'intervalle est la dose due à la consommation des produits de la mer dont les résultats de mesure sont plus faibles (mérus et turbos) car pêchés en haute mer.

Les calculs de dose effectués avec l'ensemble des résultats de mesures environnementales et alimentaires disponibles ont permis d'estimer :

- la dose efficace aux adultes entre 0,8 et 3,2 mSv et la dose efficace aux enfants âgés de 1 à 2 ans entre 0,9 et 4,0 mSv.
- la dose à la thyroïde des adultes entre 0,9 et 24,6 mSv et la dose à la thyroïde des enfants âgés de 1 à 2 ans entre 2,2 et 37,4 mSv. La dose de 37,40 mSv délivrée à la thyroïde des enfants est limitée à une population infantine ayant consommé des mollusques, notamment des bénéitiers.