



Dossier d'étude Technique

**Calcul de l'impact dosimétrique des
retombées de l'essai ALDEBARAN sur les
îles Gambier**

C.E.A. - D.A.M.

FICHE DOCUMENTAIRE**DAM**

<u>IDENTITE DU DOCUMENT</u>		
1 - <u>Nature</u> Dossier d'Etude Technique	2 - <u>Date</u> 02/05/06	3 - <u>Nbre de pages</u> 37
3 - <u>Titre</u> : Calcul de l'impact dosimétrique des retombées de l'essai ALDEBARAN sur les îles Gambier		
<p>4 - <u>Résumé</u> : Ce document présente les calculs d'impact dosimétrique sur la population des îles Gambier des retombées de l'essai atmosphérique ALDEBARAN, réalisé le 2 juillet 1966. Toutes les voies d'atteinte sont considérées : l'inhalation (doses efficaces et doses à la thyroïde), l'irradiation externe (doses efficaces par le panache et les dépôts), l'ingestion (doses efficaces et doses à la thyroïde).</p> <p>A partir de mesures d'activités dans l'environnement (dépôt et produits de la chaîne alimentaire) couplées au calcul de terme source effectué par le CEA/DAM, il a été possible de déduire toutes les grandeurs nécessaires aux évaluations d'impact : l'activité de chaque isotope dans le panache, l'activité de chaque radionucléide dans les produits végétaux et animaux et leur évolution au cours du temps. Les calculs de doses par ingestion ont également pris en compte les différentes quantités consommées en fonction de l'âge de l'individu.</p> <p>Afin d'obtenir les doses enveloppes reçues par les populations, deux vitesses de dépôt des radionucléides ont été prises en compte. Les évaluations de dose par inhalation et de dose externe par le panache les plus élevées sont obtenues en utilisant une vitesse de dépôt de $0,01 \text{ m.s}^{-1}$.</p> <p>La population la plus exposée est constituée des enfants de 1 à 2 ans.</p> <p>Les doses efficaces reçues par la population des îles Gambier varient de 3,1 à 6,6 mSv pour les adultes et de 3,2 à 9,4 mSv pour les enfants âgés de 1 à 2 ans.</p> <p>Les doses à la thyroïde reçues par la population des îles Gambier varient de 2,3 à 37 mSv pour les adultes et de 4,3 à 78 mSv pour les enfants âgés de 1 à 2 ans ayant consommé des produits locaux.</p> <p>Ce sont principalement l'irradiation externe par les dépôts, l'inhalation et la consommation de végétaux, qui contribuent aux doses reçues par les populations des îles Gambier.</p>		
5 - <u>Descripteurs proposés</u>		
Essai nucléaire atmosphérique, impact radiologique, ALDEBARAN.		

Calcul de l'impact dosimétrique des retombées de l'essai ALDEBARAN sur les îles GAMBIE

Sommaire

I - INTRODUCTION	6
II - CONTEXTE	6
III - METHODOLOGIE DE CALCUL.....	6
III.1 - METHODE DE CALCUL	6
III.1.1 - Doses par inhalation	7
III.1.2 - Doses efficaces par irradiation externe.....	7
III.1.3 - Doses par ingestion	8
III.2 - ORIGINE DES DONNEES.....	10
III.2.1 - Rapport de captation.....	10
III.2.2 - Périodes biologiques.....	10
III.2.3 - Rendement des légumes feuilles.....	10
III.2.4 - Coefficients de dose	10
III.2.5 - Ration alimentaire	11
IV - DONNEES METEOROLOGIQUES.....	13
V - TERME SOURCE.....	13
V.1 - ACTIVITES EMISES	13
V.2 - ISOTOPES PREPONDERANTS LORS DE L'ARRIVEE AUX GAMBIE	13
VI - BILAN DES MESURES ENVIRONNEMENT	14
VI.1 - MESURES "PHYSIQUES"	14
VI.1.1 - Activités dans l'air	14
VI.1.2 - Dépôts.....	14
VI.1.3 - Eaux de boisson	14
VI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX BIOLOGIQUES	15
VI.2.1 - Végétaux.....	15
VI.2.2 - Mollusques et crustacés	15
VI.2.3 - Poisson	15
VII - CALCULS DE DOSES.....	16
VII.1 - DOSES PAR INHALATION	16
VII.1.1 - Dose efficace par inhalation	16
VII.1.2 - Dose à la thyroïde par inhalation	16

VII.2 -	DOSES PAR IRRADIATION EXTERNE	17
VII.2.1 -	<i>Irradiation externe par le panache</i>	17
VII.2.2 -	<i>Irradiation externe par les dépôts</i>	17
VII.3 -	DOSES PAR INGESTION AVEC PRISE EN COMPTE DE RATIONS ALIMENTAIRES.....	19
VII.3.1 -	<i>Dose due à la consommation d'eau</i>	19
VII.3.2 -	<i>Dose due à la consommation de végétaux</i>	20
VII.3.3 -	<i>Dose due à la consommation de produits animaux</i>	21
VIII -	BILAN DES DOSES ESTIMEES	23
IX -	COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS	24
X -	CONCLUSION	29
XI -	ANNEXE 1 : DONNEES DE CALCUL	30
XI.1 -	ISOTOPES MAJORITAIRES DANS LE TERME SOURCE.....	30
XI.2 -	MESURES DANS LES MILIEUX.....	31
XI.2.1 -	<i>Activité dans les aliments</i>	31
XI.3 -	COEFFICIENTS DE DOSE.....	33
XII -	REFERENCES	37

Liste des figures

Figure 1 :	Evolution de la dose due au dépôt (mSv) en fonction du temps de présence pour un dépôt de $5,9 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$	18
Figure 2 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les enfants âgés de 1 à 2 ans – consommation faible de produits contaminés.....	25
Figure 3 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les enfants âgés de 1 à 2 ans – consommation importante de produits contaminés	25
Figure 4 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les adultes – consommation faible de produits contaminés.....	26
Figure 5 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les adultes – consommation importante de produits contaminés	26
Figure 6 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour les enfants de 1 à 2 ans – consommation faible de produits contaminés.....	27
Figure 7 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour les enfants de 1 à 2 ans – consommation importante de produits contaminés	27
Figure 8 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde pour les adultes – consommation faible de produits contaminés.....	28
Figure 9 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde pour les adultes – consommation importante de produits contaminés	28

Liste des tableaux

Tableau 1 : Débits respiratoires utilisés pour les différentes classes d'âge ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	10
Tableau 2 : Ration alimentaire pour les adultes prise en compte dans cette étude ($\text{g} \cdot \text{j}^{-1}$)	12
Tableau 3 : Activité (mélange de PF) dans de l'eau de boisson ($\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$)	15
Tableau 4 : Dose efficace par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)	16
Tableau 5 : Dose à la thyroïde par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)	16
Tableau 6 : Dose efficace par irradiation par le panache (mSv)	17
Tableau 7 : Evolution de la dose efficace par irradiation due aux dépôts en fonction du temps d'exposition – présence des 2/3 du temps à l'extérieur	18
Tableau 8 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau pendant 1 mois	19
Tableau 9 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'eau pendant 1 mois	19
Tableau 10 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de végétaux	20
Tableau 11 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de végétaux	20
Tableau 12 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de poissons	21
Tableau 13 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de poissons	21
Tableau 14 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de mollusques et crustacés	22
Tableau 15 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de mollusques	22
Tableau 16 : Synthèse des doses efficaces (mSv)	23
Tableau 17 : Synthèse des doses internes à la thyroïde (mSv)	23
Tableau 18 : Isotopes présents dans le nuage et le dépôt (hors gaz rares) à 11 heures	30
Tableau 19 : Activité β - γ globale dans des végétaux des îles Gambier ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)	31
Tableau 20 : Activité des radionucléides dans des végétaux des îles Gambier ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)	31
Tableau 21 : Activité β - γ globale dans des mollusques et crustacés des îles Gambier ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)	31
Tableau 22 : Activité β - γ globale dans des poissons (muscles) des îles Gambier ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)	32
Tableau 23 : Activité des radionucléides dans du poisson et un mollusque des îles Gambier ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)	32
Tableau 24 : Coefficients de dose efficace par irradiation due au dépôt et par inhalation	34
Tableau 25 : Coefficients de dose efficace par ingestion	35
Tableau 26 : Coefficients de dose à la thyroïde par inhalation	35
Tableau 27 : Coefficients de dose à la thyroïde par ingestion	36

I - INTRODUCTION

L'objet de ce document est de réévaluer l'impact dosimétrique, sur la population des îles Gambier, des retombées de l'essai atmosphérique ALDEBARAN, réalisé le 2 juillet 1966.

Toutes les voies d'atteinte sont considérées : l'inhalation (doses efficaces et doses à la thyroïde), l'irradiation externe (doses efficaces par le panache et les dépôts), l'ingestion (doses efficaces et doses à la thyroïde).

II - CONTEXTE

L'essai ALDEBARAN, d'une énergie de 28 kt, a été réalisé le 2 juillet 1966, à 15h35 TU, sur une barge, à partir de la zone Dindon de Mururoa. Les coordonnées géographiques du point "zéro" sont 21°52'07" S et 139°00'07"W, c'est-à-dire à 1000 m du Poste Enregistrement Avancé (PEA) Dindon. L'altitude du tir était de 10 m.

III - METHODOLOGIE DE CALCUL

III.1 - METHODE DE CALCUL

Pour évaluer l'impact des retombées de cet essai, on dispose de quelques mesures d'activités dans certains produits présents dans la ration alimentaire, exprimées le plus souvent en β global, notamment dans de l'eau de boisson prélevée à Rikitea, ainsi que d'une mesure de dépôt.

Il faut noter que, dans ce document, les calculs d'impact à long terme, prenant en compte la remise en suspension, ne sont pas réalisés.

Les dépôts mesurés et les données dans les échantillons biologiques disponibles ont servi aux calculs de doses efficaces par irradiation externe, inhalation et ingestion.

C'est la mesure de dépôts au sol, $5,9 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$, considérée comme fiable, qui a été utilisée pour en déduire les autres grandeurs nécessaires au calcul, notamment l'activité dans des légumes feuilles ; cette mesure apparaît comme étant la plus fiable, car il s'agit d'une mesure intégrée sur le temps.

Comme la plupart des résultats de mesures sont exprimés en β global, la répartition des radionucléides dans le dépôt ou dans les échantillons prélevés est déduite du terme source calculé par le CEA/DAM, en prenant en compte la décroissance radioactive et les filiations de chaque radionucléide du terme source et en supposant que le transport atmosphérique n'a provoqué aucune discrimination physico-chimique entre les radionucléides.

L'activité de chaque radionucléide dans les différents milieux est calculée au cours du temps à l'aide des données de la base JEFF, version 3.1 [1]. Sur les 1300 isotopes initialement présents dans le terme source, environ 1000 sont des isotopes radioactifs. Après 11 heures de décroissance, délai correspondant au maximum de la retombée aux îles Gambier, 70 isotopes contribuent majoritairement à l'activité globale. La liste de ces isotopes majoritaires en termes d'activité dans le dépôt et dans l'air figure dans le Tableau 18 en annexe.

Une répartition des radionucléides dans les différents milieux peut ainsi être prise en compte à partir des calculs effectués par le CEA/DAM. Faute d'informations sur les transferts des radionucléides vers la chaîne alimentaire, on suppose que la répartition calculée à partir du terme source est conservée dans les échantillons.

Par la suite, pour chaque isotope présent sous forme d'aérosol dans le panache, l'activité volumique intégrée sur le temps de la retombée, exprimée en Bq.s.m^{-3} , est déduite du dépôt au sol, exprimé en Bq.m^{-2} , à partir de la vitesse de dépôt V_d , en m.s^{-1} .

$$\text{Act vol intégrée} = \frac{\text{Dépôt}}{V_d}$$

Pour les aérosols, les activités volumiques intégrées sur le temps de passage du panache ont été calculées pour deux valeurs possibles de vitesse de dépôt : 10^{-2} et 10^{-1} m.s⁻¹. En effet, compte tenu de la répartition en taille des aérosols formés lors d'un essai nucléaire, les vitesses de dépôt de ceux-ci se situent majoritairement entre ces valeurs car le panache radioactif est arrivé rapidement aux îles Gambier (moins d'une journée après l'essai).

La valeur de 10^{-2} m.s⁻¹, proche de celle utilisée pour la modélisation des conséquences des accidents de réacteur, est, dans le cas de l'essai Aldébaran, une estimation probablement majorante, qui conduit à estimer des concentrations maximales dans l'air et donc des conséquences par inhalation et due à l'irradiation par le panache plus importantes.

L'activité des gaz rares, qui sert uniquement au calcul de la dose par irradiation externe par le panache, est déduite de l'activité des aérosols à l'aide des ratios de leurs activités respectives par rapport à l'activité totale dans le panache à l'instant de calcul considéré.

III.1.1 - DOSES PAR INHALATION

La dose par inhalation due à l'ensemble des isotopes, exprimée en Sv, est égale à la somme des produits de l'activité volumique intégrée sur le temps de passage du panache pour chaque isotope par le débit respiratoire QR_i , exprimé en m³.s⁻¹, fonction de l'âge de la personne, et du coefficient de dose, soit efficace, soit à la thyroïde, $CD_{inhal_{i,j}}$, qui s'exprime en Sv.Bq⁻¹ inhalé, et est fonction de l'isotope et de sa forme physico-chimique ainsi que de l'âge de la personne :

$$\text{Dose inhal} = \sum_i (\text{Act vol intégrée}_i \times QR_i \times CD_{inhal_{i,j}})$$

Les gaz rares ne contribuent pas à la dose par inhalation.

Pour les calculs de doses internes, différentes classes d'âge ont été retenues, du bébé à l'adulte.

Les résultats sont exprimés en termes de dose efficace, due à l'ensemble des isotopes du terme source, ainsi que de dose à la thyroïde, essentiellement due aux iodes et, en moindre part, aux tellures.

La dose due à l'inhalation des aérosols est calculée pour un individu exposé sans protection pendant le passage du panache.

III.1.2 - DOSES EFFICACES PAR IRRADIATION EXTERNE

Ces doses sont identiques quel que soit l'âge de l'individu.

III.1.2.1 - Irradiation externe par le panache

La dose efficace due à l'irradiation externe par le panache, exprimée en Sv, est égale à la somme des produits de l'activité volumique intégrée de chaque isotope présent dans le panache, par le coefficient de dose efficace pour la voie "irradiation externe par le panache", $CD_{pch_{i,j}}$, qui s'exprime en Sv/(Bq.s.m⁻³) et est fonction de l'isotope :

$$\text{Dose externe panache} = \sum_i (\text{Act vol intégrée}_i \times CD_{pch_{i,j}})$$

Pour les aérosols, l'activité volumique intégrée sur le temps de passage du panache est identique à celle utilisée pour le calcul de la dose par inhalation. Comme indiqué précédemment, les rapports

entre les activités des gaz rares et celles des autres isotopes du terme source sont identiques à ceux calculés à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

La dose due à l'irradiation externe est calculée pour un individu exposé sans protection pendant le passage du panache.

III.1.2.2 - Irradiation externe par les dépôts

Connaissant les activités déposées pour les différents isotopes, on peut en déduire, dans un premier temps, le débit de dose dû au dépôt. Celui-ci, exprimé en Sv.h^{-1} , est égal à la somme des produits du dépôt par isotope par le coefficient de dose efficace, pour la voie "irradiation externe par le dépôt", $\text{CD}_{\text{dépôt } i}$, qui s'exprime en $(\text{Sv.h}^{-1})/(\text{Bq.m}^{-2})$, et est fonction : de l'isotope :

$$\text{Débit de dose externe dépôt} = \sum_i (\text{Dépôt}_i \times \text{CD}_{\text{dépôt } i})$$

Puis, par intégration pour différentes durées d'exposition, on évalue la dose due au dépôt, en prenant en compte la décroissance radioactive de l'isotope, caractérisé par sa constante radioactive $\lambda_{\text{rad } i}$. Cette dose évolue au cours du temps, selon la durée de présence T de l'individu considéré sur le dépôt. Cette dose perdure au-delà du passage du panache.

$$\text{Dose externe dépôt} = \sum_i \left(\frac{\text{Débit de dose dépôt}_i [1 - \exp(-\lambda_{\text{rad } i} T)]}{\lambda_{\text{rad } i}} \right)$$

Dans le calcul de la dose intégrée due au dépôt, on considère un coefficient d'atténuation, prenant en compte le fait que les individus concernés passent une partie du temps à l'intérieur des habitations et se déplacent.

III.1.3 - DOSES PAR INGESTION

Cette dose est due à la consommation d'aliments produits localement, contaminés par les retombées radioactives. Cette dose est fonction de l'âge de l'individu ; elle dépend donc de sa consommation.

Comme pour les doses par inhalation, les résultats sont exprimés en termes de dose efficace, due à l'ensemble des isotopes du terme source, ainsi que de dose à la thyroïde, essentiellement due aux iodes et, en moindre part, aux tellures.

Les calculs de dose par ingestion se font, sauf pour les légumes feuilles, à partir des activités mesurées dans les aliments d'origine locale. La répartition des activités des isotopes dans les différents aliments à la date considérée est supposée identique à la répartition des activités dans le dépôt, calculée à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

Lorsqu'on connaît l'activité par isotope dans l'aliment considéré, exprimée en Bq.kg^{-1} , la dose par ingestion se calcule par la somme, sur les différents isotopes, des produits de l'activité en Bq.kg^{-1} , par la consommation, en kg et le coefficient de dose par ingestion, $\text{CD}_{\text{ing } i,j}$, soit efficace, soit à la thyroïde, qui s'exprime en Sv par Bq ingéré :

$$\text{Dose ingestion} = \sum_i (\text{Act aliment }_i \times \text{conso }_i \times \text{CD ingestion }_{i,j})$$

Par ailleurs, l'activité (Bq.kg^{-1}) de chaque radionucléide dans les légumes feuilles due aux dépôts directs pendant le passage du panache peut être estimée à partir de l'activité déposée au sol, du rapport de captation (RC, sans unité) des légumes feuilles vis-à-vis du dépôt au sol et du rendement de culture (kg.m^{-2}).

L'activité dans l'aliment, exprimée en Bq d'isotope par kg suite aux "dépôts directs" est égale à :

$$\text{Activité aliment } i = \text{Dépôt}_i \times \frac{RC}{Rdt}$$

L'activité intégrée dans l'aliment (Bq.jour.kg^{-1}) se déduit de l'activité précédente par intégration en supposant une décroissance biologique et radioactive ; la constante de décroissance efficace λ_{eff} , exprimée en jour^{-1} , prise en compte est la somme des constantes radioactive et biologique.

$$\text{Activité intégrée aliment } i = \frac{\text{Activité aliment } i}{\lambda_{\text{eff } i}}$$

La dose par ingestion est alors égale au produit de cette activité par la consommation journalière, en kg.j^{-1} , et du coefficient de dose, soit efficace, soit à la thyroïde, exprimé en Sv.Bq^{-1} :

$$\text{Dose ingestion} = \sum_i \text{Activité intégrée aliment } i \times \text{conso}_i \times \text{CD ingestion } i,j$$

III.2 - ORIGINE DES DONNEES

III.2.1 - RAPPORT DE CAPTATION

Le rapport de captation des légumes feuilles considéré est de 0,1.

III.2.2 - PERIODES BIOLOGIQUES

Les périodes biologiques d'élimination dans les végétaux considérées sont égales à 30 jours, sauf pour l'iode 131, pour lequel une période de 5 jours est prise en compte.

III.2.3 - RENDEMENT DES LEGUMES FEUILLES

Le rendement des légumes feuilles considéré est de 1 kg.m⁻².

III.2.4 - COEFFICIENTS DE DOSE

III.2.4.1 - Doses internes

Pour le calcul des doses efficaces internes, par inhalation et par ingestion, les coefficients de dose proviennent de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 [2]. Ils sont rappelés dans le Tableau 24 et le Tableau 25, pages 34 et 35.

Dans le cas des doses par inhalation, la forme physico-chimique associée aux différents isotopes est celle recommandée, soit par ce même arrêté, soit par la Directive Européenne [3], soit par la CIPR 71-72 [4]. En ce qui concerne les doses à la thyroïde, les coefficients de dose proviennent de la CIPR 71-72. Pour la voie inhalation, les coefficients de dose correspondent à une granulométrie des aérosols de 1 µm, valeur habituellement utilisée pour les calculs de dose au public.

Les coefficients de dose à la thyroïde figurent dans le Tableau 26 et le Tableau 27, pages 35 et 36.

Pour la voie inhalation, l'iode est supposé émis sous forme vapeur.

Les débits respiratoires sont ceux indiqués dans la CIPR-66 [5].

Classe d'âge	Bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Débit respiratoire (m ³ .s ⁻¹)	3,31. 10 ⁻⁵	5,97. 10 ⁻⁵	1,01. 10 ⁻⁴	1,77. 10 ⁻⁴	2,33. 10 ⁻⁴	2,57. 10 ⁻⁴

Tableau 1 : Débits respiratoires utilisés pour les différentes classes d'âge (m³.s⁻¹)

III.2.4.2 - Doses efficaces externes

Pour la voie irradiation externe par le panache et les dépôts, les coefficients de dose proviennent du rapport Federal Guidance n°12 [6]. Les coefficients de dose due au dépôt sont rappelés dans le Tableau 24, page 34.

Dans les calculs de dose due aux dépôts présentés dans cette étude, on suppose que les personnes passent 2/3 de leur temps à l'extérieur sur les dépôts. Cette hypothèse est conservative, notamment sur des longues périodes.

III.2.5 - RATION ALIMENTAIRE

La ration alimentaire pour les adultes est présentée dans le Tableau 2. Pour les autres classes d'âge, on a évalué une consommation fonction de l'âge, qui est indiquée dans les différents tableaux présentant les résultats des doses.

Catégorie	Aliment	Gambier	
		Quantité	
		par aliment	par catégorie
boisson	eau		
	eau de citerne	2000	
	eau de coco	1000	
	lait		
poissons	thon		
	bonite		
	ature		
	inaa		
	poissons haute mer	80	380
	poissons lagon	300	
viandes	poulet	40	
	porc	40	80
	bœuf		
	chien		
mollusques	turbo	15	
	bénitier	30	
	poulpe		
	autres mollusques	15	60
crustacés	chevrettes		
	langouste	40	40
coprah		150	150
fruits plantes arborescentes	banane	100	
	papaye	50	
	citron		
	mangue		
	avocat		
	pamplemousse		
	uru	100	
autres fruits	50	300	

Catégorie	Aliment	Gambier	
		Quantité	
		par aliment	par catégorie
fruits plantes herbacées	ananas		
	tomates	40	
	concombre	40	
	aubergine		
	autres fruits	20	100
légumes feuilles	salade	30	
	chou	10	
	poireau		
	fafa	30	
	autres légumes		70
racines et tubercules	taro	70	
	patate douce	70	
	tarua		
	navet		
	carotte		
	manioc	100	
	autres		240
	total origine locale		1420

Tableau 2 : Ration alimentaire pour les adultes prise en compte dans cette étude (g.j⁻¹)

IV - DONNEES METEOROLOGIQUES

Le tir a été réalisé par un vent d'ouest, nord-ouest, de l'ordre de 5 m.s^{-1} au sol et de 20 m.s^{-1} en altitude. Des conditions météorologiques imprévues ont provoqué une inclinaison et un cisaillement du panache avant sa dispersion dans l'atmosphère.

Les vents ont poussé les aérosols et les gaz radioactifs en direction de l'atoll inhabité de Morane, puis des îles Gambier.

V - TERME SOURCE

Le CEA/DAM a évalué le nombre de noyaux d'environ 1300 isotopes, stables et radioactifs, émis dans le panache à l'instant initial.

V.1 - ACTIVITES EMISES

A l'instant initial, l'activité totale est due à des isotopes tels que ^{97}Sr , ^{96}Sr , ^{128}In , ^{95}Rb , ^{98}Y , ..., isotopes de périodes très courtes (inférieures à quelques secondes) et qui ne sont pas, pour la plupart, dans les bases de données de coefficients de dose.

V.2 - ISOTOPES PREPONDERANTS LORS DE L'ARRIVEE AUX GAMBIER

Le terme source a été exploité à l'aide de la version 3.1 de la base de données JEFF [1], afin de connaître l'évolution de la répartition en isotopes à différents instants, notamment à $T + 11 \text{ h}$, temps d'arrivée du panache aux Gambier.

A l'heure de la retombée aux îles Gambier, les isotopes majoritaires en terme d'activité sont ^{135}Xe , ^{135}I , ^{133}I , ^{92}Y , ^{97}Nb ... qui correspondent chacun à plus de 5,5% de l'activité globale (cf. Tableau 18). L'isotope ^{133}I contribue à 6% de l'activité et ^{135}I contribue à 7,6% de l'activité totale.

VI - BILAN DES MESURES ENVIRONNEMENT

VI.1 - MESURES "PHYSIQUES"

Aux îles Gambier, les débitmètres ont indiqué une augmentation de débit de dose à partir de T0+10h45 environ. Le débit de dose maximal mesuré est de $250 \mu\text{Gy.h}^{-1}$.

VI.1.1 - ACTIVITES DANS L'AIR

On ne dispose que de peu de mesures de l'activité dans l'environnement après l'essai ALDEBARAN ; les activités dans l'air, utilisées pour le calcul de la dose par irradiation externe par le panache et de la dose par inhalation, seront déduites de la mesure du dépôt.

VI.1.2 - DEPOTS

Le dépôt maximal était de $5,9 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$ ($1,6 \text{ mCi.m}^{-2}$), mesuré sur un scotch de prélèvement.

VI.1.3 - EAUX DE BOISSON

En 1966, l'ORSTOM a réalisé des études sur l'hydrographie de l'île et sur le mode d'approvisionnement en eau de Rikitea. Dans ce rapport, on peut lire :

"Le réseau d'adduction d'eau de Rikitea est complexe ; la population utilisait jadis l'eau des puits creusés dans le sable de la bande côtière, qui à 1 ou 2 mètres de profondeur, rencontrent la nappe d'eau douce. Des petites sources suintant des rochers au niveau de la plaine étaient également connues. Les puits, qui ont parfois été bouchés, sont encore nombreux dans le village de Rikitea mais on ne les utilise pratiquement plus. Le toit de l'église de Rikitea, qui couvre environ 900 m^2 de surface, a été équipé sur sa face ouest de gouttières qui recueillent l'eau de pluie pour alimenter une citerne en ciment. Ce réservoir, fissuré, n'est plus en service. On peut estimer qu'à l'époque où la citerne fonctionnait, elle offrait à la population 800 à 900 m^3 d'eau de pluie par an.

Le long du sentier qui, en direction du sud, monte vers la terrasse latéristique pour rejoindre ensuite Atituiti, trois petites sources ont été captées à 30 ou 40 mètres d'altitude. Les deux premiers captages consistent en des trous de $1,5 * 2 * 0,5 \text{ m}$, creusés à 5 mètres l'un de l'autre, dans lesquels l'eau affleure. Ils sont tapissés de parpaings et couverts de tôles ondulées mal ajustées. Le troisième captage est mieux protégé car il est recouvert d'une dalle en béton inamovible, avec un regard. Trois canalisations amènent l'eau à un collecteur d'où une conduite enterrée alimente un réservoir de 10 m^3 environ, en ciment et planches jointives dans sa partie supérieure, convenablement construit et protégé. Le débit d'alimentation de ces réservoirs est faible, de 300 à 400 litres par heure en période sèche.

L'alimentation principale de Rikitea est assurée depuis quelques années (1961 ?) par le captage du ruisseau de Gatavake. A une altitude voisine de 165 m, les trois bras principaux du ruisseau ont été captés : une petite fosse de 1 m^2 sur 0,30 m de profondeur, dans laquelle se dépose une partie du débit solide, est équipée sur le côté d'un pertuis dans lequel est logée la tête de la conduite, munie d'une crépine grossière. Une canalisation d'un kilomètre de long environ et de 2 pouces de diamètre aboutit, après avoir franchi le col de Gatavake, à un réservoir qui domine à 65 m d'altitude le village de Rikitea. D'un volume approximatif de 80 m^3 , ce réservoir est construit en ciment et planches jointives dans sa partie supérieure. Son toit de tôle assure une protection efficace. Il est branché sur l'ancienne conduite qui alimente tout le village en le traversant. La

conduite d'aménée au réservoir étant à gueule noyée, son débit n'est pas directement mesurable. Elle absorbe tout le débit du ruisseau de Gatavake en période sèche mais, en période de pluie, elle s'engorge et débite par saccades. On peut estimer que son débit maximal est de 3 litres par seconde.

A l'extrémité septentrionale du village, des captages isolés de deux petits ruisseaux, à écoulement très temporaire, remplissent périodiquement des réservoirs en ciment de 10 à 15 m³, qui alimentent séparément deux bornes fontaines."

On dispose de peu de mesures de l'activité de l'eau de boisson à Rikitea. Elles sont reportées dans le Tableau 3 :

Date de prélèvement et de mesure	Activité (Bq.l ⁻¹)
6 juillet	3
8 juillet	814
9 juillet	592
21 juillet	2

Tableau 3 : Activité (mélange de PF) dans de l'eau de boisson (Bq.l⁻¹)

VI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX BIOLOGIQUES

Les mesures dans les milieux biologiques sont limitées ; elles sont indiquées du Tableau 19 au Tableau 23, en annexe, pages 31 et 32.

On ne dispose pas de mesures d'activités dans la viande.

VI.2.1 - VEGETAUX

Quelques mesures dans les végétaux des îles Gambier sont disponibles (cf. Tableau 19, page 31). L'activité maximale est de l'ordre de 8. 10⁵ Bq.kg⁻¹ en activité β-γ globale dans des feuilles de radis, le 7 juillet et de 6,7. 10⁵ Bq.kg⁻¹ en activité β-γ globale dans de la salade, le 06 juillet.

Du ¹⁰³Ru, ⁹⁵Zr et ¹⁴¹Ce ont été mesurés dans l'uru en juillet (Tableau 20, page 31). L'activité maximale est de l'ordre de 180 Bq.kg⁻¹ en ⁹⁵Zr, le 19 juillet.

Les mesures dans les végétaux étant peu nombreuses, le calcul de dose par ingestion sera effectué en évaluant l'activité dans les légumes feuilles à partir de la mesure de dépôt.

VI.2.2 - MOLLUSQUES ET CRUSTACES

Le Tableau 21, page 31, présente une synthèse des activités dans quelques mollusques et crustacés prélevés aux îles Gambier, après l'essai. Les activités les plus importantes ont été relevées dans un bénitier ; l'activité globale est de l'ordre de 2,2. 10⁵ Bq.kg⁻¹ (cf. Tableau 21, page 31).

Le Tableau 23 indique près de 78 Bq.kg⁻¹ en ⁹⁵Zr et 1295 Bq.kg⁻¹ dans du bénitier prélevé le 23 juillet.

VI.2.3 - POISSON

Les activités mesurées dans la chair de poissons sont reportées dans le Tableau 22 et le Tableau 23, page 32.

VII - CALCULS DE DOSES

Dans les calculs, on considère que le panache est arrivé à H+11 aux îles Gambier.

VII.1 - DOSES PAR INHALATION

L'activité dans l'air des différents isotopes est estimée en prenant en compte deux vitesses de dépôt :

- une vitesse de dépôt de 10^{-2} m.s^{-1} , conduisant aux activités dans l'air les plus élevées et, donc à une évaluation maximale des doses due à l'irradiation externe par le panache et par inhalation,
- une vitesse de dépôt de 10^{-1} m.s^{-1} , proposée historiquement pour des retombées proches.

L'activité volumique dans l'air, intégrée sur le temps de la retombée, est déduite de la valeur de dépôt, mesure la plus fiable, c'est-à-dire $5,9 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$.

On suppose que les populations sont à l'extérieur sans protection pendant le passage du panache.

VII.1.1 - DOSE EFFICACE PAR INHALATION

Classe d'âge		Bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte	
Débit respiratoire ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)		$3,31 \cdot 10^{-5}$	$5,97 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^{-4}$	
Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	10^{-1}	Dose tous isotopes	0,14	0,22	0,19	0,18	0,16	0,12
	10^{-2}	Dose tous isotopes	1,4	2,2	1,9	1,8	1,6	1,2

Tableau 4 : Dose efficace par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)

La dose efficace la plus élevée, 2,2 mSv, est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans et pour une vitesse de dépôt de 10^{-2} m.s^{-1} . En effet, le produit du coefficient de dose efficace par inhalation et du débit respiratoire est le plus élevé pour cette classe d'âge.

VII.1.2 - DOSE A LA THYROÏDE PAR INHALATION

Classe d'âge		Bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte	
Débit respiratoire ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)		$3,31 \cdot 10^{-5}$	$5,97 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^{-4}$	
Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	10^{-1}	Dose tous isotopes	1,8	3,0	2,3	1,8	1,8	1,3
	10^{-2}	Dose tous isotopes	18	30	23	18	18	13

Tableau 5 : Dose à la thyroïde par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)

La dose à la thyroïde la plus élevée, de l'ordre de 30 mSv, est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans pour la vitesse de dépôt de 10^{-2} m.s^{-1} car l'activité volumique intégrée sur le temps de la retombée est plus importante avec cette hypothèse de vitesse de dépôt ; d'autre part, le produit du coefficient de dose à la thyroïde par inhalation et du débit respiratoire est le plus élevé pour cette classe d'âge.

VII.2 - DOSES PAR IRRADIATION EXTERNE

Ces doses sont identiques quel que soit l'âge de l'individu.

VII.2.1 - IRRADIATION EXTERNE PAR LE PANACHE

La dose par irradiation par le panache est calculée pour un individu exposé sans protection pendant le passage du panache.

Pour les aérosols, l'activité volumique de l'air intégrée sur le temps de passage du panache est identique à celle utilisée pour le calcul de la dose par inhalation. Le rapport entre les gaz rares et les autres isotopes du terme source est déduit de celui estimé à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

L'isotope qui contribue le plus à la dose est ^{135}I .

Dépôt (Bq.m^{-2})	$5,9. 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$	
Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	10^{-1}	10^{-2}
Dose tous isotopes (mSv)	0,021	0,21

Tableau 6 : Dose efficace par irradiation par le panache (mSv)

La dose due à l'irradiation externe par le panache est au plus de 0,21 mSv.

VII.2.2 - IRRADIATION EXTERNE PAR LES DEPOTS

Connaissant l'activité déposée pour les différents isotopes, on peut en déduire, dans un premier temps, le débit de dose dû au dépôt, puis par intégration pour différents temps d'exposition, la dose due au dépôt. Celle-ci évolue au cours du temps, selon la durée de présence de l'individu considéré sur le dépôt. Elle perdure au-delà du passage du panache.

On a supposé que les personnes passaient 2/3 du temps à l'extérieur, quelle que soit la durée d'exposition.

Le débit de dose calculé à H+11 est d'environ $0,14 \text{ mSv.h}^{-1}$. Cette valeur est environ deux fois plus faible que la mesure de $0,25 \text{ mGy.h}^{-1}$, relevée à proximité du dépôt de $5,9. 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$. Elle est toutefois globalement cohérente avec cette mesure.

Dépôt initial	$5,9 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$	Isotopes contribuant le plus à la dose
tps présence	dose dépôt (mSv)	
1 jour	0,80	^{135}I (19,6%), ^{132}Te (16%), ^{133}I (12%), ^{97}Zr (13,4%)
2 jours	1,13	^{132}Te (21%), ^{135}I (15,3%), ^{97}Zr (13,3%), ^{133}I (12,4%)
1 semaine	1,73	^{132}Te (29,8%), ^{140+}Ba (13,2%), ^{135}I (9,8%), ^{133}I (9,8%), ^{97}Zr (9,8%)
2 semaines	2,13	^{132}Te (30%), ^{140+}Ba (18,5%), ^{133}I (8,2%), ^{135}I (8,1%), ^{97}Zr (8,1%)
1 mois	2,47	^{132}Te (27,6%), ^{140+}Ba (24%), ^{133}I (7,1%), ^{135}I (7%), ^{97}Zr (7%)
6 mois	2,87	^{140+}Ba (25,7%), ^{132}Te (23,7%), ^{133}I (6,1%), ^{135}I (6%), ^{97}Zr (6%), ^{95}Zr (6%), ^{103}Ru (6%)

Tableau 7 : Evolution de la dose efficace par irradiation due aux dépôts en fonction du temps d'exposition – présence des 2/3 du temps à l'extérieur

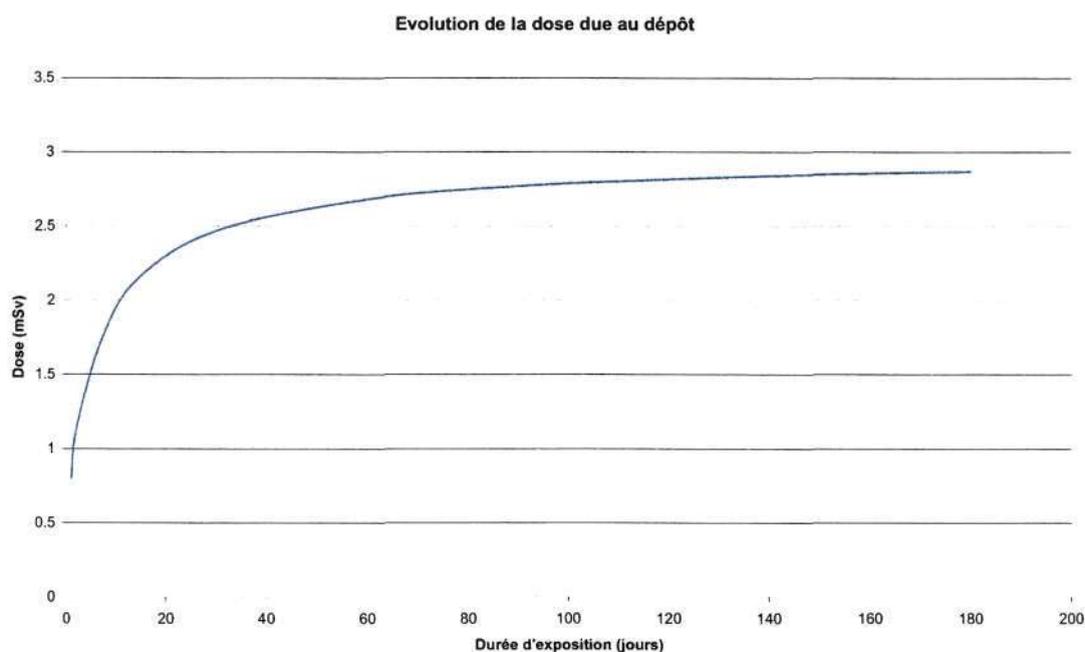


Figure 1 : Evolution de la dose due au dépôt (mSv) en fonction du temps de présence pour un dépôt de $5,9 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$

La dose due au dépôt augmente rapidement au début de l'exposition. Par la suite, après la disparition des isotopes à vie courte, elle se stabilise à environ 2,9 mSv après 6 mois.

VII.3 - DOSES PAR INGESTION AVEC PRISE EN COMPTE DE RATIONS ALIMENTAIRES

Les quantités ingérées quotidiennement par les adultes sont indiquées dans le Tableau 2, page 12.

Il faut noter qu'aux îles Gambier, il n'y a pas de consommation de lait produit localement. Cette voie d'atteinte n'est donc pas prise en compte dans les calculs.

VII.3.1 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION D'EAU

Un calcul est effectué à partir des mesures dans l'eau de boisson, le 8 juillet (814 Bq.l^{-1} - cf. Tableau 3).

On a supposé que la répartition de l'activité des différents isotopes est identique entre le terme source et l'eau aux différents instants.

Dans un premier temps, on a calculé l'activité de l'eau le 2 juillet, c'est-à-dire au moment de l'arrivée de la retombée aux Gambier, puis on fait évoluer cette activité selon la décroissance radioactive pendant 1 mois.

L'activité ramenée à H + 11 est de $14\,000 \text{ Bq.l}^{-1}$.

Les consommations d'eau sont fonction de la classe d'âge.

Les doses efficaces et à la thyroïde sont présentées dans le Tableau 8 et le Tableau 9 ci-dessous.

VII.3.1.1 - Dose efficace

Classe d'âge	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (l.j^{-1})	0,50	1,0	1,25	1,5	2	2
Dose totale (mSv)	0,31	0,48	0,31	0,20	0,16	0,12

Tableau 8 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau pendant 1 mois

Compte tenu des hypothèses de quantité d'eau consommée, la dose efficace la plus élevée, de l'ordre de 0,5 mSv, est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

VII.3.1.2 - Dose à la thyroïde

Classe d'âge	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (l.j^{-1})	0,50	1,0	1,25	1,5	2	2
Dose totale (mSv)	3,4	6,0	4,1	2,3	2,0	1,3

Tableau 9 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'eau pendant 1 mois

Compte tenu des hypothèses de quantité d'eau consommée, la dose la plus élevée, 6 mSv, est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

Les doses présentées dans le Tableau 8 et le Tableau 9 correspondent aux doses maximales reçues en supposant une consommation d'eau contaminée.

Pour évaluer la dose minimale reçue, on suppose que l'eau consommée n'est pas contaminée. La dose minimale est donc nulle.

VII.3.2 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION DE VEGETAUX

Deux calculs ont été réalisés :

- pour évaluer la dose "maximale" reçue, on calcule l'activité dans les légumes feuilles à partir de la mesure de dépôt de $5,9 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$. De plus, on suppose une consommation quotidienne jusqu'à la décroissance radioactive "complète" dans le végétal, en prenant un rapport de captation de 0,1 et un rendement de 1 kg.m^{-2} ; l'activité β globale est de $5,9 \cdot 10^6 \text{ Bq.kg}^{-1}$;
- pour évaluer la dose "minimale" reçue, on utilise la concentration mesurée le 7 juillet dans des racines de radis ($3,6 \cdot 10^4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en β global - cf. Tableau 19, page 31).

Les consommations de légumes feuilles, qui regroupent les produits choux, salades, poireaux, décrits dans l'enquête alimentaire (cf. Tableau 2), ont été considérées égales à 100 grammes par jour pour un adulte. Cette valeur de 100 g majore les quantités réellement ingérées de cette nature de produits, mais elle est aussi choisie de façon à intégrer la consommation des autres légumes et fruits, pour lesquels peu de données sont disponibles, mais qui étaient beaucoup moins contaminés.

Les radis sont consommés pendant 1 mois et les activités journalières sont calculées en tenant compte de la décroissance radioactive.

Les consommations de végétaux pour les différentes classes d'âge sont présentées dans le Tableau 10. On a supposé que le nourrisson ne consomme pas cet aliment.

VII.3.2.1 - Dose efficace due à la consommation de végétaux

Classe d'âge	Aliment	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,015	0,03	0,05	0,1	0,1
Dose (mSv)	Légumes feuilles	-	1,7	1,7	1,6	1,9	1,4
Dose (mSv)	Radis	-	0,10	0,10	0,10	0,12	0,09

Tableau 10 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de végétaux

La dose efficace due à la consommation de légumes feuilles est au plus de 1,9 mSv, pour un enfant âgé de 12 à 17 ans.

VII.3.2.2 - Dose à la thyroïde due à la consommation de végétaux

Classe d'âge	Aliment	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,015	0,03	0,05	0,1	0,1
Dose (mSv)	Légumes feuilles	-	19	21	16	22	14
Dose (mSv)	Radis	-	1,3	1,4	1,1	1,5	1,0

Tableau 11 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de végétaux

La dose à la thyroïde due à la consommation de légumes feuilles est au plus de 22 mSv, pour un enfant âgé de 12 à 17 ans.

VII.3.3 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION DE PRODUITS ANIMAUX

On rappelle qu'il n'y a pas de données de contamination de viande.

Par ailleurs, la ration alimentaire (cf. Tableau 2, page 12) indique qu'il n'y a pas de consommation de lait produit localement.

VII.3.3.1 - Consommation de poissons

Les données disponibles montrent une grande hétérogénéité de l'activité mesurée.

Deux calculs ont été effectués :

- le premier, conduisant à une dose maximale, est réalisé à partir d'une valeur égale à 20% (pour tenir compte d'une consommation variée de poissons) de l'activité maximale mesurée dans du mullet le 23 juillet (2331 Bq.kg^{-1} en ^{95}Zr - cf. Tableau 23, page 32) ; l'activité globale est alors de 9320 Bq.kg^{-1} ;
- le second, conduisant à une dose minimale, est réalisé à partir de la valeur de 26 Bq.kg^{-1} en activité β globale le 22 juillet dans du thon (cf. Tableau 22, page 32).

Faute d'informations précises sur les transferts des différents isotopes aux poissons, on a supposé que le rapport des activités dans le dépôt et les poissons est identique.

On considère des consommations fonction de la classe d'âge et on suppose que le nourrisson ne consomme pas de poisson. Par hypothèse, la consommation se produit quotidiennement pendant 1 mois et les activités restent égales aux valeurs initiales.

Dose efficace

Classe d'âge	Poisson	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,10	0,10	0,15	0,38	0,38
Dose 1 mois (mSv)	Mulet	-	0,64	0,32	0,29	0,43	0,32
Dose 1 mois (mSv)	Thon	-	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$

Tableau 12 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de poissons

La dose efficace due à la consommation de poissons est au plus de l'ordre de 0,65 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Poisson	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,10	0,10	0,15	0,38	0,38
Dose 1 mois (mSv)	Mulet	-	7,0	4,1	2,9	5,0	3,2
Dose 1 mois (mSv)	Thon	-	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$

Tableau 13 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de poissons

La dose maximale à la thyroïde due à la consommation de poissons est évaluée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans et est au plus de 7 mSv.

VII.3.3.2 - Consommation de crustacés et mollusques

Très peu de mesures sont disponibles.

Un calcul de la dose maximale reçue a été effectué à partir de la mesure dans du bécitier le 11 juillet ($2,2 \cdot 10^5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en activité β - γ globale – cf. Tableau 21, page 31). L'activité a été ramenée à la date de prélèvement, c'est-à-dire le 4 juillet ; elle est de $1,3 \cdot 10^6 \text{ Bq.kg}^{-1}$.

Faute d'informations précises sur l'activité de l'eau et les transferts des différents isotopes aux mollusques, on suppose que le rapport des activités dans le dépôt et les mollusques est identique. Par la suite, on suppose que l'activité dans le bécitier évolue selon la décroissance radioactive pendant 1 mois.

On considère des consommations qui dépendent de l'âge et on suppose que le nourrisson ne consomme pas cet aliment.

L'activité dans le bécitier étant très élevée par rapport aux mesures dans les autres produits, on ne prend en compte que la quantité consommée en bécitiers, présentée dans le Tableau 2, en supposant que cette évaluation de dose constitue une dose "enveloppe" qui serait due à la consommation de tous les autres crustacés et mollusques.

Dose efficace

Classe d'âge	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	0	0,010	0,015	0,020	0,030	0,030
Dose 1 mois (mSv)	-	1,24	0,95	0,72	0,65	0,48

Tableau 14 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de mollusques et crustacés

C'est l'enfant âgé de 1 à 2 ans qui reçoit la dose maximale, au plus de l'ordre de 1,25 mSv.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	0	0,010	0,015	0,020	0,030	0,030
Dose 1 mois (mSv)	-	15,8	13,4	8,4	8,5	5,4

Tableau 15 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de mollusques

La dose maximale à la thyroïde due à la consommation de mollusques et crustacés est au plus de l'ordre de 16 mSv, pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

La dose minimale correspond à la consommation de produits non contaminés.

VIII - BILAN DES DOSES ESTIMEES

Le tableau suivant synthétise les doses calculées, en indiquant les valeurs minimales et maximales évaluées pour les enfants âgés de 1 à 2 ans, classe d'âge la plus radio-sensible, et les adultes.

Valeur de dose	Enfant 1-2 ans		Adulte	
	minimale	maximale	minimale	maximale
dose dépôt 6 mois	2,9	2,9	2,9	2,9
dose panache	0,02	0,21	0,02	0,21
dose efficace inhalation	0,22	2,2	0,12	1,2
eau de boisson	0	0,48	0	0,12
végétaux*	0,10	1,7	0,09	1,4
poissons	$1,9 \cdot 10^{-3}$	0,64	$9,5 \cdot 10^{-4}$	0,32
mollusques	0	1,24	0	0,48
total ingestion	0,10	4,06	0,09	2,32
interne				
(inhalation + ingestion)	0,32	6,26	0,21	3,52
total	3,2	9,4	3,1	6,6

Tableau 16 : Synthèse des doses efficaces (mSv)

* La valeur minimale correspond à la consommation de radis ; la valeur maximale correspond à la consommation de légumes feuilles.

Valeur de dose	Enfant 1-2 ans		Adulte	
	minimale	maximale	minimale	maximale
dose thyroïde inhalation	3	30	1,3	13
eau de boisson	0	6	0	1,3
végétaux*	1,3	19	1,0	14
poissons	$2,2 \cdot 10^{-2}$	7	$9,8 \cdot 10^{-3}$	3,2
mollusques	0	15,8	0	5,4
total ingestion	1,3	47,8	1,0	23,9
interne				
(inhalation + ingestion)	4,3	78	2,3	37

Tableau 17 : Synthèse des doses internes à la thyroïde (mSv)

IX - COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS

La classe d'âge la plus exposée est constituée des enfants âgés de 1 à 2 ans, qui ont une alimentation variée, composée des mêmes aliments que les adultes.

Les doses efficaces varient de 3,1 à 6,6 mSv pour un adulte et de 3,2 à 9,4 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

Ce sont principalement l'irradiation externe par les dépôts, l'inhalation et la consommation de végétaux directement contaminés qui contribuent aux doses efficaces reçues par les adultes et les enfants (cf. Figure 2 à Figure 5).

Les doses internes à la thyroïde varient de 2,3 à 37 mSv pour un adulte et de 4,3 à 78 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans. Ce sont principalement l'inhalation et la consommation de végétaux directement contaminés qui contribuent aux doses à la thyroïde reçues par les adultes et les enfants (cf. Figure 6 à Figure 9).

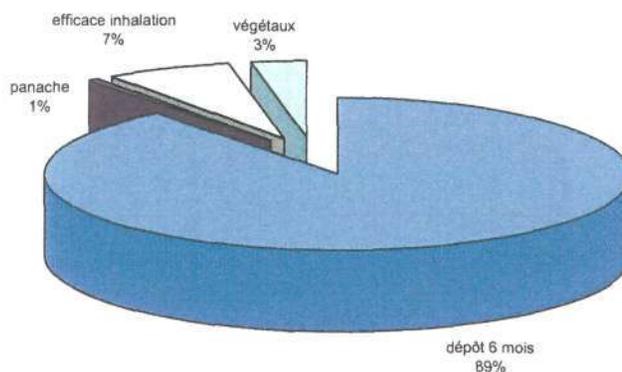


Figure 2 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les enfants âgés de 1 à 2 ans – consommation faible de produits contaminés

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant peu de produits d'origine locale), la dose efficace est de 3,2 mSv.

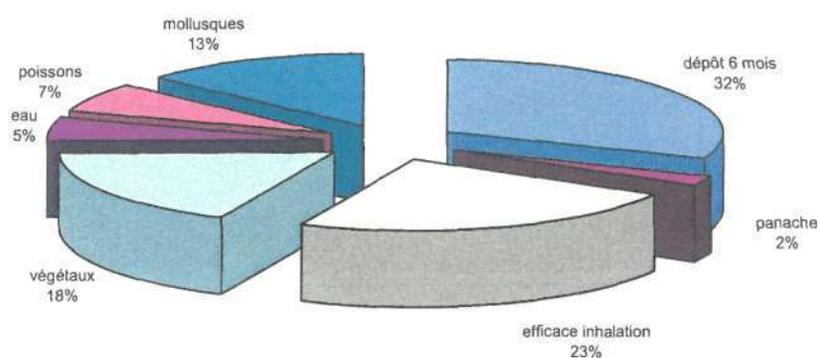


Figure 3 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les enfants âgés de 1 à 2 ans – consommation importante de produits contaminés

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant beaucoup de produits d'origine locale), la dose efficace est de 9,4 mSv.

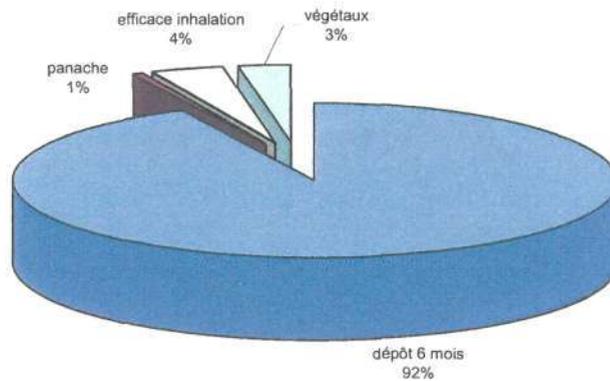


Figure 4 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les adultes – consommation faible de produits contaminés

Dans ce cas (adultes consommant peu de produits d'origine locale), la dose efficace est de 3,1 mSv.

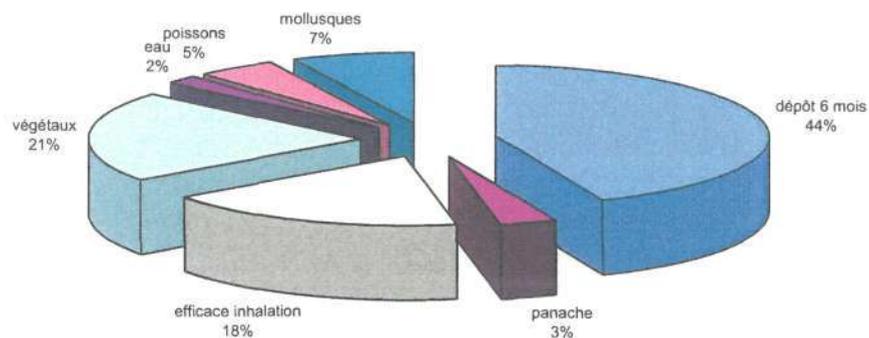


Figure 5 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les adultes – consommation importante de produits contaminés

Dans ce cas (adultes consommant beaucoup de produits d'origine locale), la dose efficace est de 6,6 mSv.

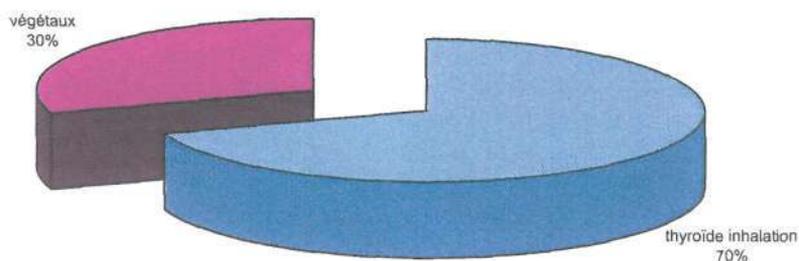


Figure 6 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour les enfants de 1 à 2 ans – consommation faible de produits contaminés

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant peu de produits d'origine locale), la dose à la thyroïde est de l'ordre de 4,3 mSv.

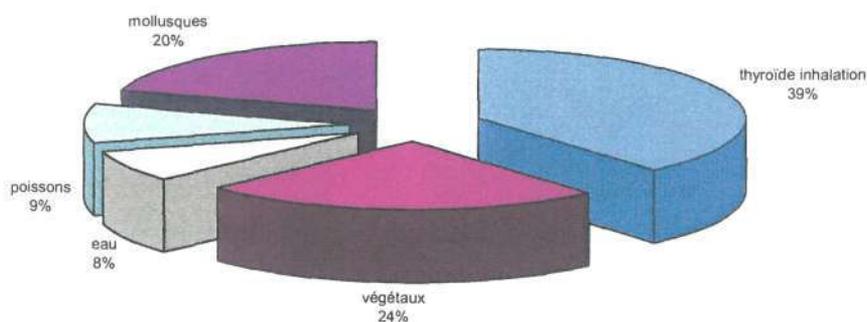


Figure 7 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour les enfants de 1 à 2 ans – consommation importante de produits contaminés

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant beaucoup de produits d'origine locale), la dose à la thyroïde est de 78 mSv.

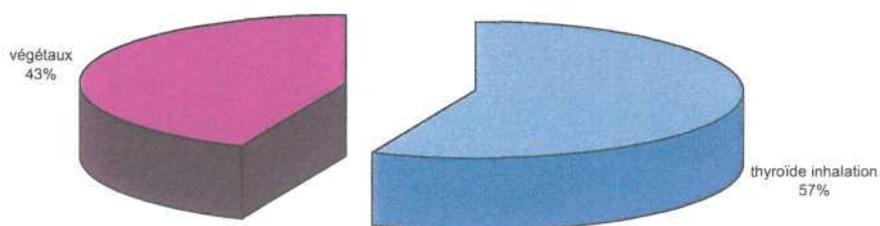


Figure 8 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde pour les adultes – consommation faible de produits contaminés

Dans ce cas (adultes consommant peu de produits d'origine locale), la dose à la thyroïde est de 2,3 mSv.

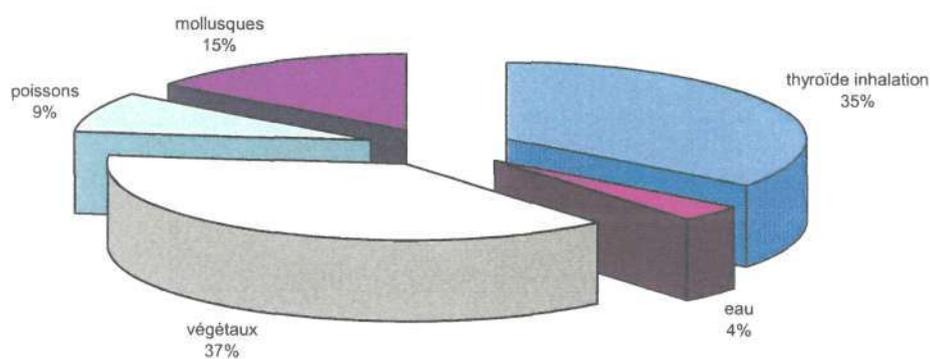


Figure 9 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde pour les adultes – consommation importante de produits contaminés

Dans ce cas (adultes consommant beaucoup de produits d'origine locale), la dose à la thyroïde est de 37 mSv.

X - CONCLUSION

Ce document présente les calculs d'impact dosimétrique sur la population des îles Gambier des retombées de l'essai atmosphérique ALDEBARAN, réalisé le 2 juillet 1966. Toutes les voies d'atteinte sont considérées : l'inhalation (doses efficaces et doses à la thyroïde), l'irradiation externe (doses efficaces par le panache et les dépôts), l'ingestion (doses efficaces et doses à la thyroïde).

A partir de mesures d'activités dans l'environnement (dépôt et produits de la chaîne alimentaire) couplées au calcul de terme source effectué par le CEA/DAM, il a été possible de déduire toutes les grandeurs nécessaires aux évaluations d'impact : l'activité de chaque isotope dans le panache, l'activité de chaque radionucléide dans les produits végétaux et animaux et leur évolution au cours du temps. Les calculs de doses par ingestion ont également pris en compte les différentes quantités consommées en fonction de l'âge de l'individu.

Afin d'obtenir les doses enveloppes reçues par les populations, deux vitesses de dépôt des radionucléides ont été prises en compte. Les évaluations de dose par inhalation et de dose externe par le panache les plus élevées sont obtenues en utilisant une vitesse de dépôt de $0,01 \text{ m.s}^{-1}$.

La population la plus exposée est constituée des enfants de 1 à 2 ans.

Les doses efficaces reçues par la population des îles Gambier varient de 3,1 à 6,6 mSv pour les adultes et de 3,2 à 9,4 mSv pour les enfants âgés de 1 à 2 ans.

Les doses à la thyroïde reçues par la population des îles Gambier varient de 2,3 à 37 mSv pour les adultes et de 4,3 à 78 mSv pour les enfants âgés de 1 à 2 ans ayant consommé des produits locaux.

Ce sont principalement l'irradiation externe par les dépôts, l'inhalation et la consommation de végétaux, qui contribuent aux doses reçues par les populations des îles Gambier.

XI - ANNEXE 1 : DONNEES DE CALCUL

XI.1 - ISOTOPES MAJORITAIRES DANS LE TERME SOURCE

isotope ¹	Période	pourcentage activité totale	pourcentage activité hors GR
¹³⁵ Xe	9.09 h	8.98E+00	-
¹³⁵ I	6.61 h	7.62E+00	8.70E+00
¹³³ I	20.8 h	6.03E+00	6.88E+00
⁹² Y	3.54 h	5.66E+00	6.46E+00
⁹⁷ Nb	1.20 h	5.56E+00	6.35E+00
¹⁰⁵ Ru	4.44 h	5.41E+00	6.18E+00
¹⁴¹ La	3.93 h	5.26E+00	6.01E+00
⁹⁷ Zr	16.9 h	5.18E+00	5.91E+00
^{97m} Nb	1 min	4.91E+00	5.60E+00
⁹³ Y	10.1 h	4.86E+00	5.55E+00
¹⁴⁵ Pr	5.98 h	3.80E+00	4.34E+00
⁹¹ Sr	9.50 h	3.38E+00	3.86E+00
¹⁴³ Ce	1.38 j	2.70E+00	3.09E+00
¹⁰⁵ Rh	1.47 j	2.62E+00	2.99E+00
⁹⁹ Mo	2.75 j	2.08E+00	2.37E+00
⁹² Sr	2.71 h	1.85E+00	2.11E+00
^{91m} Y	0.828 h	1.85E+00	2.11E+00
¹³² I	2.30 h	1.60E+00	1.82E+00
¹²⁹ Te	1.16 h	1.57E+00	1.79E+00
¹³² Te	3.26 j	1.53E+00	1.74E+00
^{105m} Rh	45 s	1.52E+00	1.73E+00
¹²⁹ Sb	4.32 h	1.42E+00	1.62E+00
^{99m} Tc	6.02 h	1.37E+00	1.56E+00
^{135m} Xe	2.2 j	1.23E+00	-
⁸⁸ Rb	0.297 h	9.79E-01	1.12E+00
^{109m} Ag	39.6 s	9.35E-01	1.07E+00
¹⁰⁹ Pd	13.4 h	9.35E-01	1.07E+00
⁸⁸ Kr	2.84 h	8.77E-01	-
¹⁴² La	1.54 h	5.93E-01	6.77E-01
¹⁴⁹ Pm	2.21 j	5.57E-01	6.36E-01
¹⁵¹ Pm	1.18 j	5.44E-01	6.22E-01
^{131m} Te	1.25 j	5.25E-01	5.99E-01
¹³⁹ Ba	1.38 h	4.76E-01	5.43E-01
^{85m} Kr	4.5 h	4.47E-01	-
¹⁴⁰ Ba	12.7 j	4.42E-01	5.05E-01
^{83m} Kr	1.8 h	4.19E-01	-
¹³¹ I	8.04 j	4.05E-01	4.62E-01
¹³³ Xe	5.25 j	3.83E-01	-
¹⁴⁹ Nd	1.73 h	2.39E-01	2.72E-01
¹⁴⁷ Nd	11.0 j	1.98E-01	2.26E-01
¹⁵³ Sm	1.95 j	1.92E-01	2.19E-01
¹⁰³ Ru	39.3 j	1.80E-01	2.05E-01
^{103m} Rh	0.935 h	1.79E-01	2.05E-01

Tableau 18 : Isotopes présents dans le nuage et le dépôt (hors gaz rares) à 11 heures

¹ Seuls les produits de fission sont indiqués ici.

XI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX

XI.2.1 - ACTIVITE DANS LES ALIMENTS

Les tableaux suivants présentent l'évolution de l'activité dans différents produits prélevés aux îles Gambier après l'essai ALDEBARAN.

Date prélèvement et mesure	Espèce	activité (en Bq.kg ⁻¹ frais)
06 juillet	Salade	6,7. 10 ⁵
	Salade lavée	1,5. 10 ⁵
06 juillet	Salade lavée (base des feuilles)	3,9. 10 ⁴
06 juillet	Salade lavée (extrémité des feuilles)	3,25. 10 ⁵
07 juillet	Salade	3,6. 10 ⁵
07 juillet	Radis feuilles	5,5. 10 ⁵
	Radis racines	3,9. 10 ⁴
07 juillet	Radis feuilles	8,1. 10 ⁵
	Radis racines	3,6. 10 ⁴
07 juillet	Fafa (épinards)	1,9. 10 ⁵
07 juillet	Café vert	9,8. 10 ³
08 juillet	Salade	1,5. 10 ⁵
	Salade lavée	8,5. 10 ⁴
21 juillet	Salade	4,0. 10 ³
	Salade lavée	1,5. 10 ³
21 juillet	Radis feuilles	1,5. 10 ⁴
	Radis racines	8,1. 10 ²
	Radis racine épluchée	92
21 juillet	Pulpe de banane	< 20

Tableau 19 : Activité β - γ globale dans des végétaux des îles Gambier (Bq.kg⁻¹)

Date	produit	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹⁴¹ Ce	¹⁴⁰ La
5 juillet	Uru	13,32	7,4	4,44	
19 juillet	Uru	181,3	148	166,5	481
9 août	Uru	151,7	103,6	70,3	111
19 juillet	Salade	462,5	518	555	
19 juillet	Carotte	85,1	740	777	
16 juillet	Radis racine	614,2	114,7	96,2	
8 août	Orange	29,6	17,02	19,24	32,83

Tableau 20 : Activité des radionucléides dans des végétaux des îles Gambier (Bq.kg⁻¹)

Produit	Date prélèvement	Date mesure	activité (en Bq.kg ⁻¹ frais)
Oursin	04 juillet	09 juillet	1258
Turbo	04 juillet	03 août	370
Bénitier	04 juillet	11 juillet	2,2. 10 ⁵
Crabe	19 juillet	3 août	555

Tableau 21 : Activité β - γ globale dans des mollusques et crustacés des îles Gambier (Bq.kg⁻¹)

Date prélèvement et mesure	Espèce	activité (en Bq.kg ⁻¹ frais)
05 juillet	Espadon	< LD
05 juillet	Tétron	< LD
08 juillet	Bonite du lagon	130
08 juillet	Bec de canne	37
20 juillet	Thon	26
20 juillet	Thon	26
20 juillet	Bec de canne	< LD
23 juillet	Thon	< LD

Tableau 22 : Activité β - γ globale dans des poissons (muscles) des îles Gambier (Bq.kg⁻¹)

Date	Produit	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹⁴¹ Ce	¹⁴⁰ La
23 juillet	Mulet	2331	177,6	444	
23 juillet	Bénitier	77,7	1295		70,3

Tableau 23 : Activité des radionucléides dans du poisson et un mollusque des îles Gambier (Bq.kg⁻¹)

XI.3 - COEFFICIENTS DE DOSE

	période	Cd dépôt (Sv/h)/(Bq/m ²)	Coefficient dose efficace - inhalation (Sv.Bq ⁻¹)					
			bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
C14 aérosols	5.73E3 a	5.80E-17	1.90E-08	1.70E-08	1.10E-08	7.40E-09	6.40E-09	5.80E-09
Br83	2.39 h	2.93E-14	3.50E-10	2.30E-10	1.10E-10	7.70E-11	5.90E-11	4.80E-11
Rb88	0.297 h	2.14E-12	1.90E-10	1.20E-10	5.20E-11	3.20E-11	1.90E-11	1.60E-11
Sr91	9.50 h	3.52E-12	3.10E-09	2.20E-09	1.10E-09	6.90E-10	4.40E-10	3.70E-10
Sr92	2.71 h	4.50E-12	1.90E-09	1.40E-09	6.50E-10	4.10E-10	2.50E-10	2.10E-10
Y91 m	0.828 h	1.88E-12	7.40E-11	5.90E-11	3.10E-11	2.00E-11	1.40E-11	1.10E-11
Y92	3.54 h	9.11E-13	1.90E-09	1.20E-09	5.50E-10	3.50E-10	2.10E-10	1.80E-10
Y93	10.1 h	3.28E-13	4.60E-09	3.00E-09	1.40E-09	8.50E-10	5.00E-10	4.20E-10
Zr970	16.9 h	3.05E-12	7.80E-09	5.30E-09	2.80E-09	1.80E-09	1.10E-09	9.20E-10
Nb97	1.20 h	2.32E-12	3.70E-10	2.50E-10	1.20E-10	7.70E-11	5.20E-11	4.30E-11
Mo99	2.75 j	5.29E-13	6.00E-09	4.40E-09	2.20E-09	1.50E-09	1.10E-09	8.90E-10
Tc99 m	6.02 h	4.36E-13	1.30E-10	9.90E-11	5.10E-11	3.40E-11	2.40E-11	1.90E-11
Ru103	39.3 j	1.67E-12	1.10E-08	8.40E-09	5.00E-09	3.50E-09	3.00E-09	2.40E-09
Ru105	4.44 h	2.77E-12	1.30E-09	9.20E-10	4.50E-10	3.00E-10	2.00E-10	1.70E-10
Rh105	1.47 j	2.74E-13	2.40E-09	1.70E-09	8.00E-10	5.60E-10	4.50E-10	3.50E-10
Rh103 m	0.935 h	4.50E-15	2.00E-11	1.30E-11	6.70E-12	4.30E-12	3.20E-12	2.70E-12
Pd109	13.4 h	4.03E-14	2.70E-09	1.90E-09	9.30E-10	6.30E-10	4.60E-10	3.70E-10
Ag112	3.12 h	2.28E-12	9.80E-10	6.40E-10	2.80E-10	1.70E-10	9.10E-11	7.60E-11
Sb129	0.173 h	6.98E-12	2.00E-09	1.40E-09	6.80E-10	4.40E-10	2.90E-10	2.30E-10
Te129	1.16 h	2.16E-13	3.30E-10	2.20E-10	9.90E-11	6.50E-11	4.40E-11	3.70E-11
Te131	0.417 h	1.48E-12	2.60E-10	1.70E-10	8.10E-11	5.20E-11	3.50E-11	2.80E-11
Te131 m	1.25 j	5.26E-12	7.90E-09	5.80E-09	3.00E-09	1.90E-09	1.20E-09	9.40E-10
Te132	3.26 j	8.78E-12	1.60E-08	1.30E-08	6.40E-09	4.00E-09	2.60E-09	2.00E-09
I131 vapeur	8.04 j	1.35E-12	1.70E-07	1.60E-07	9.40E-08	4.80E-08	3.10E-08	2.00E-08
I132 vapeur	2.30 h	7.96E-12	2.80E-09	2.30E-09	1.30E-09	6.40E-10	4.30E-10	3.10E-10
I133 vapeur	20.8 h	2.15E-12	4.50E-08	4.10E-08	2.10E-08	9.70E-09	6.30E-09	4.00E-09
I134 vapeur	0.876 h	9.11E-12	8.20E-09	6.90E-10	3.90E-10	2.20E-10	1.60E-10	1.50E-10
I135 vapeur	6.61 h	5.29E-12	9.70E-09	8.50E-09	4.50E-09	2.10E-09	1.40E-09	9.20E-10
Cs134	2.06 a	5.47E-12	1.10E-08	7.30E-09	5.20E-09	5.30E-09	6.30E-09	6.60E-09
Cs134m	2.90 h	9.32E-14	1.30E-10	8.60E-11	3.80E-11	2.50E-11	1.60E-11	1.40E-11
Cs135	2.30E6 a	1.20E-16	1.70E-09	9.90E-10	6.20E-10	6.10E-10	6.80E-10	6.90E-10
Cs135m	0.883 h	5.54E-12	9.20E-11	7.80E-11	4.10E-11	2.40E-11	1.50E-11	1.20E-11
Cs136	13.1 j	7.52E-12	7.30E-09	5.20E-09	2.90E-09	2.00E-09	1.40E-09	1.20E-09
Cs137	30.0 a	2.00E-12	8.80E-09	5.40E-09	3.60E-09	3.70E-09	4.40E-09	4.60E-09
Cs138	0.536 h	7.88E-12	2.60E-10	1.80E-10	8.10E-11	5.00E-11	2.90E-11	2.40E-11
Ba139	1.38 h	1.65E-13	5.40E-10	3.50E-10	1.60E-10	1.00E-10	6.60E-11	5.60E-11
Ba140	12.7 j	8.42E-12	2.70E-08	2.00E-08	1.10E-08	7.60E-09	6.20E-09	5.10E-09
La141	3.93 h	1.63E-13	1.40E-09	9.30E-10	4.30E-10	2.80E-10	1.80E-10	1.50E-10
La142	1.54 h	8.86E-12	8.10E-10	5.70E-10	2.70E-10	1.70E-10	1.10E-10	8.90E-11
Ce141	32.5 j	2.66E-13	1.40E-08	1.10E-08	6.30E-09	4.60E-09	4.10E-09	3.20E-09
Ce143	1.38 j	1.00E-12	5.60E-09	3.90E-09	1.90E-09	1.30E-09	9.30E-10	7.50E-10
Pr145	5.98 h	5.62E-14	1.60E-09	1.10E-09	4.90E-10	3.20E-10	2.00E-10	1.70E-10
Nd147	11.0 j	5.00E-13	1.20E-08	8.60E-09	4.90E-09	3.50E-09	3.00E-09	2.40E-09
Nd149	1.73 h	1.36E-12	7.10E-10	4.80E-10	2.30E-10	1.50E-10	1.10E-10	8.90E-11
Pm149	2.21 j	4.07E-14	5.30E-09	3.60E-09	1.80E-09	1.20E-09	9.00E-10	7.30E-10
Pm151	1.18 j	1.13E-12	3.40E-09	2.60E-09	1.30E-09	7.90E-10	5.70E-10	4.60E-10
Sm153	1.95 j	2.24E-13	4.20E-09	2.90E-09	1.50E-09	1.00E-09	7.90E-10	6.30E-10
Sm156	9.40 h	4.21E-13	1.60E-09	1.10E-09	5.80E-10	3.50E-10	2.70E-10	2.20E-10
U237	6.75 j	4.79E-13	7.80E-09	5.70E-09	3.30E-09	2.40E-09	2.10E-09	1.70E-09
Np237	2.14E6 a	8.05E-13	4.40E-05	4.00E-05	2.80E-05	2.20E-05	2.20E-05	2.30E-05

	période	Cd dépôt (Sv/h)/(Bq/m ²)	Coefficient dose efficace - inhalation (Sv.Bq ⁻¹)					
			bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Np239	2.36 j	5.87E-13	5.90E-09	4.20E-09	2.00E-09	1.40E-09	9.30E-10	9.30E-10
Pu238	87.7 a	3.02E-15	7.80E-05	7.40E-05	5.60E-05	4.40E-05	4.30E-05	4.60E-05
Pu239	2.41E4 a	1.32E-15	8.00E-05	7.70E-05	6.00E-05	4.80E-05	4.70E-05	5.00E-05
Pu240	6.54E3 a	2.89E-15	8.00E-05	7.70E-05	6.00E-05	4.80E-05	4.70E-05	5.00E-05
Pu241	14.4 a	1.87E-17	9.10E-07	9.70E-07	9.20E-07	8.30E-07	8.60E-07	9.00E-07
Pu242	3.76E5 a	2.40E-15	7.60E-05	7.30E-05	5.70E-05	4.50E-05	4.50E-05	4.80E-05
Am241	432 a	9.90E-14	7.30E-05	6.90E-05	5.10E-05	4.00E-05	4.00E-05	4.20E-05

Tableau 24 : Coefficients de dose efficace par irradiation due au dépôt et par inhalation

	Coefficient dose efficace - ingestion (Sv.Bq ⁻¹)					
	bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
C14 aérosols	1.40E-09	1.60E-09	9.90E-10	8.00E-10	5.70E-10	5.80E-10
Br83	5.30E-10	3.00E-10	1.40E-10	8.30E-11	5.50E-11	4.30E-11
Rb88	1.10E-09	6.20E-10	3.00E-10	1.70E-10	1.20E-10	9.00E-11
Sr91	5.20E-09	4.00E-09	2.10E-09	1.20E-09	7.40E-10	6.50E-10
Sr92	3.40E-09	2.70E-09	1.40E-09	8.20E-10	4.80E-10	4.30E-10
Y91 m	9.20E-11	6.00E-11	3.30E-11	2.10E-11	1.40E-11	1.10E-11
Y92	5.90E-09	3.60E-09	1.80E-09	1.00E-09	6.20E-10	4.90E-10
Y93	1.40E-08	8.50E-09	4.30E-09	2.50E-09	1.40E-09	1.20E-09
Zr97	2.20E-08	1.40E-08	7.30E-09	4.40E-09	2.60E-09	2.10E-09
Nb97	7.70E-10	4.50E-10	2.30E-10	1.30E-10	8.70E-11	6.80E-11
Mo99	5.50E-09	3.50E-09	1.80E-09	1.10E-09	7.60E-10	6.00E-10
Tc99 m	2.00E-10	1.30E-10	7.20E-11	4.30E-11	2.80E-11	2.20E-11
Ru103	7.10E-09	4.60E-09	2.40E-09	1.50E-09	9.20E-10	7.30E-10
Ru105	2.70E-09	1.80E-09	9.10E-10	5.50E-10	3.30E-10	2.60E-10
Rh105	4.00E-09	2.70E-09	1.30E-09	8.00E-10	4.60E-10	3.70E-10
Rh103 m	4.70E-11	2.70E-11	1.30E-11	7.40E-12	4.80E-12	3.80E-12
Pd109	6.30E-09	4.10E-09	2.00E-09	1.20E-09	6.80E-10	5.50E-10
Ag112	4.90E-09	3.00E-09	1.50E-09	8.90E-10	5.40E-10	4.30E-10
Sb129	4.30E-09	2.80E-09	1.50E-09	8.80E-10	5.30E-10	4.20E-10
Te129	7.50E-10	4.40E-10	2.10E-10	1.20E-10	8.00E-11	6.30E-11
Te131	9.00E-10	6.60E-10	3.50E-10	1.90E-10	1.20E-10	8.70E-11
Te131 m	2.00E-08	1.40E-08	7.80E-09	4.30E-09	2.70E-09	1.90E-09
Te132	4.80E-08	3.00E-08	1.60E-08	8.30E-09	5.30E-09	3.80E-09
I131 vapeur	1.80E-07	1.80E-07	1.00E-07	5.20E-08	3.40E-08	2.20E-08
I132 vapeur	3.00E-09	2.40E-09	1.30E-09	6.20E-10	4.10E-10	2.90E-10
I133 vapeur	4.90E-08	4.40E-08	2.30E-08	1.00E-08	6.80E-09	4.30E-09
I134 vapeur	1.10E-09	7.50E-10	3.90E-10	2.10E-10	1.40E-10	1.10E-10
I135 vapeur	1.00E-08	8.90E-09	4.70E-09	2.20E-09	1.40E-09	9.30E-10
Cs134	2.60E-08	1.60E-08	1.30E-08	1.40E-08	1.90E-08	1.90E-08
Cs134m	2.10E-10	1.20E-10	5.90E-11	3.50E-11	2.50E-11	2.00E-11
Cs135	4.10E-09	2.30E-09	1.70E-09	1.70E-09	2.00E-09	2.00E-09
Cs135m	1.30E-10	8.60E-11	4.90E-11	3.20E-11	2.30E-11	1.90E-11
Cs136	1.50E-08	9.50E-09	6.10E-09	4.40E-09	3.40E-09	3.00E-09
Cs137	2.10E-08	1.20E-08	9.60E-09	1.00E-08	1.30E-08	1.30E-08
Cs138	1.10E-09	5.90E-10	2.90E-10	1.70E-10	1.20E-10	9.20E-11
Ba139	1.40E-09	8.40E-10	4.10E-10	2.40E-10	1.50E-10	1.20E-10
Ba140	3.20E-08	1.80E-08	9.20E-09	5.80E-09	3.70E-09	2.60E-09
La141	4.30E-09	2.60E-09	1.30E-09	7.60E-10	4.50E-10	3.60E-10
La142	1.90E-09	1.10E-09	5.80E-10	3.50E-10	2.30E-10	1.80E-10
Ce141	8.10E-09	5.10E-09	2.60E-09	1.50E-09	8.80E-10	7.10E-10

	Coefficient dose efficace - ingestion (Sv.Bq ⁻¹)					
	bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Ce143	1.20E-08	8.00E-09	4.10E-09	2.40E-09	1.40E-09	1.10E-09
Pr145	4.70E-09	2.90E-09	1.40E-09	8.50E-10	4.90E-10	3.90E-10
Nd147	1.20E-08	7.80E-09	3.90E-09	2.30E-09	1.30E-09	1.10E-09
Nd149	1.40E-09	8.70E-10	4.30E-10	2.60E-10	1.60E-10	1.20E-10
Pm149	1.20E-08	7.40E-09	3.70E-09	2.20E-09	1.20E-09	9.90E-10
Pm151	8.00E-09	5.10E-09	2.60E-09	1.60E-09	9.10E-10	7.30E-10
Sm153	8.40E-09	5.40E-09	2.70E-09	1.60E-09	9.20E-10	7.40E-10
Sm156	2.80E-09	1.80E-09	9.00E-10	5.40E-10	3.10E-10	2.50E-10
U237	8.30E-09	5.40E-09	2.80E-09	1.60E-09	9.50E-10	7.60E-10
Np237	2.00E-06	2.10E-07	1.40E-07	1.10E-07	1.10E-07	1.10E-07
Np239	8.90E-09	5.70E-09	2.90E-09	1.70E-09	1.00E-09	8.00E-10
Pu238	4.00E-06	4.00E-07	3.10E-07	2.40E-07	2.20E-07	2.30E-07
Pu239	4.20E-06	4.20E-07	3.30E-07	2.70E-07	2.40E-07	2.50E-07
Pu240	4.20E-06	4.20E-07	3.30E-07	2.70E-07	2.40E-07	2.50E-07
Pu241	5.60E-08	5.70E-09	5.50E-09	5.10E-09	4.80E-09	4.80E-09
Pu242	4.00E-06	4.00E-07	3.20E-07	2.60E-07	2.30E-07	2.40E-07
Am241	3.70E-06	3.70E-07	2.70E-07	2.20E-07	2.00E-07	2.00E-07

Tableau 25 : Coefficients de dose efficace par ingestion

	Période	Coefficient dose inhalation - thyroïde (Sv.Bq ⁻¹)					
		bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Te121 m	154 j	7.70E-09	5.70E-09	3.10E-09	1.60E-09	1.10E-09	8.70E-10
Te123	1.00E13 a	1.00E-09	7.80E-10	4.50E-10	2.70E-10	2.20E-10	2.00E-10
Te123 m	120 j	5.50E-09	3.90E-09	1.90E-09	8.90E-10	5.80E-10	4.10E-10
Te125 m	58.0 j	4.40E-09	3.00E-09	1.40E-09	6.20E-10	3.90E-10	2.50E-10
Te127	9.35 h	5.90E-11	3.40E-11	1.50E-11	7.10E-12	4.10E-12	2.80E-12
Te127 m	109 j	1.40E-08	9.80E-09	4.70E-09	2.00E-09	1.30E-09	8.60E-10
Te129	1.16 h	4.50E-12	2.80E-12	1.30E-12	7.40E-13	4.40E-13	3.50E-13
Te129 m	33.6 j	1.90E-08	1.20E-08	5.70E-09	2.50E-09	1.50E-09	1.00E-09
Te131	0.417 h	6.80E-10	4.60E-10	2.40E-10	1.20E-10	7.30E-11	4.80E-11
Te131 m	1.25 j	3.70E-08	2.50E-08	1.30E-08	6.60E-09	4.10E-09	2.70E-09
Te132	3.26 j	8.70E-08	5.30E-08	2.40E-08	1.10E-08	6.60E-09	4.30E-09
Te133	0.207 h	7.30E-10	4.50E-10	2.10E-10	9.40E-11	5.00E-11	3.60E-11
Te133 m	0.923 h	3.30E-09	2.00E-09	9.40E-10	4.20E-10	2.50E-10	1.60E-10
Te134	0.696 h	3.80E-10	2.80E-10	1.30E-10	6.10E-11	3.80E-11	2.60E-11
I121	2.12 h	3.80E-09	8.40E-09	4.90E-09	2.60E-09	1.80E-09	1.20E-09
I123	13.2 h	3.90E-08	3.50E-08	1.90E-08	8.60E-09	5.70E-09	3.70E-09
I125	60.1 j	9.30E-07	1.00E-06	7.50E-07	5.60E-07	4.00E-07	2.70E-07
I128	0.416 h	1.90E-09	1.70E-09	8.60E-10	3.70E-10	2.40E-10	1.50E-10
I129	1.57E7 a	3.30E-06	3.90E-06	3.10E-06	3.40E-06	2.50E-06	1.90E-06
I130	12.4 h	3.60E-07	3.30E-07	1.70E-07	8.00E-08	5.20E-08	3.30E-08
I131	8.04 j	3.30E-06	3.20E-06	1.90E-06	1.10E-07	6.20E-07	3.90E-07
I132	2.30 h	4.30E-08	3.80E-08	2.00E-08	8.90E-09	5.80E-09	3.60E-09
I132 m	1.39 h	3.90E-08	3.50E-08	1.80E-08	8.20E-09	5.30E-09	1.30E-09
I133	20.8 h	8.90E-07	8.00E-07	4.20E-07	1.90E-07	1.20E-07	7.60E-08
I134	0.876 h	8.20E-09	7.30E-09	3.80E-09	1.70E-09	1.10E-09	7.00E-10
I135	6.61 h	1.80E-07	1.60E-07	8.00E-09	3.80E-08	2.40E-08	1.50E-08

Tableau 26 : Coefficients de dose à la thyroïde par inhalation

	Coefficient dose ingestion - thyroïde (Sv.Bq ⁻¹)					
	bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Te121	3.80E-09	1.70E-09	9.70E-10	5.30E-10	3.80E-10	2.80E-10
Te121 m	3.00E-08	1.30E-08	7.30E-09	3.60E-09	2.50E-09	1.80E-09
Te123	4.00E-09	1.80E-09	1.10E-09	7.10E-10	5.80E-10	4.90E-10
Te123 m	2.70E-08	1.20E-08	6.40E-09	2.90E-09	1.90E-09	1.20E-09
Te125 m	2.50E-08	1.10E-08	5.80E-09	2.60E-09	1.60E-09	1.00E-09
Te127	4.50E-10	1.70E-10	8.90E-11	4.10E-11	2.60E-11	1.70E-11
Te127 m	7.60E-08	3.40E-08	1.80E-08	7.70E-09	4.90E-09	3.10E-09
Te129	2.40E-11	6.30E-12	3.10E-12	1.70E-12	1.00E-12	7.50E-13
Te129 m	1.10E-07	5.10E-08	2.60E-08	1.10E-08	7.40E-09	4.60E-09
Te131	7.60E-09	7.30E-09	4.30E-09	2.10E-09	1.40E-09	8.90E-10
Te131 m	2.60E-07	1.50E-07	8.90E-08	4.50E-08	2.90E-08	1.80E-08
Te132	6.50E-07	3.20E-07	1.70E-07	7.50E-08	1.49E-07	3.10E-08
Te133	9.50E-09	8.50E-09	4.50E-09	2.00E-09	1.30E-09	8.10E-10
Te133 m	3.90E-08	3.40E-08	1.80E-08	8.00E-09	5.10E-09	3.20E-09
Te134	6.30E-09	5.50E-09	2.90E-09	1.30E-09	8.30E-10	5.20E-10
I121	8.80E-09	8.30E-09	4.90E-09	2.60E-09	1.80E-09	1.20E-09
I123	4.10E-08	3.70E-08	2.00E-08	9.20E-09	6.10E-09	3.90E-09
I125	1.00E-06	1.10E-06	8.20E-07	6.20E-07	4.40E-07	3.00E-07
I128	1.10E-09	1.00E-09	5.10E-10	2.20E-10	1.40E-10	8.90E-11
I129	3.70E-06	4.30E-06	3.40E-06	3.80E-06	2.80E-06	2.10E-06
I130	3.90E-07	3.50E-07	1.90E-07	8.50E-08	5.60E-08	3.60E-08
I131	3.70E-06	3.60E-06	2.10E-06	1.00E-06	6.80E-07	4.30E-07
I132	4.00E-08	3.50E-08	1.90E-08	8.30E-09	5.40E-09	3.40E-09
I132 m	3.80E-08	3.40E-08	1.80E-08	8.00E-09	5.20E-09	3.30E-09
I133	9.60E-07	8.60E-07	4.60E-07	2.00E-07	1.30E-07	8.20E-08
I134	6.30E-09	5.60E-09	2.90E-09	1.30E-09	8.50E-10	5.40E-10
I135	1.90E-07	1.70E-07	8.70E-08	3.90E-08	2.50E-08	1.60E-08

Tableau 27 : Coefficients de dose à la thyroïde par ingestion

XII - REFERENCES

- 1 Base de données JEFF - Joint Evaluation Fission and Fusion File – AEN – février 2005
- 2 Arrêté du 01/09/2003 pour le calcul des doses efficaces définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.
- 3 Directive Euratom 96-29 - Nouvelle directive fixant les normes de base n°96/29/Euratom du 13/05/96 – Journal Officiel de la Communauté Européenne L159 du 29 juin 1996.
- 4 CIPR 71: Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4. Inhalation dose coefficients; Volume 25, n° 3-4, 1995 / CIPR 72: Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients.
- 5 ICRP Publication 66: Human respiratory tract model for radiological protection - 1993
- 6 External Exposure to Radionuclides in air, water and soil - Federal Guidance Report N° 12, 1993.



Dossier d'étude Technique

**Calcul de l'impact dosimétrique des
retombées de l'essai ENCELADE à Tureia**

C.E.A. - D.A.M.

FICHE DOCUMENTAIREDAMIDENTITE DU DOCUMENT**1 - Nature**

Dossier d'Etude Technique

2 - Date

02/05/06

3 - Nbre de pages

45

4 - Titre : Calcul de l'impact dosimétrique des retombées de l'essai ENCELADE à Tureia

5 - Résumé : Ce document présente les calculs d'impact dosimétrique sur la population de Tureia des retombées de l'essai atmosphérique ENCELADE, réalisé le 12 juin 1971. Toutes les voies d'atteinte sont considérées : l'inhalation (doses efficaces et doses à la thyroïde), l'irradiation externe (doses efficaces par le panache et les dépôts), l'ingestion (doses efficaces et doses à la thyroïde).

A partir de mesures d'activités dans l'environnement (dépôt et produits de la chaîne alimentaire) couplées au calcul de terme source effectué par le CEA/DAM, il a été possible de déduire toutes les grandeurs nécessaires aux évaluations d'impact : l'activité de chaque isotope dans le panache, l'activité de chaque radionucléide dans les produits végétaux et animaux et leur évolution au cours du temps. Les calculs de doses par ingestion ont également pris en compte les différentes quantités consommées en fonction de l'âge de l'individu.

Afin d'obtenir les doses enveloppes reçues par les populations, deux vitesses de dépôt des radionucléides ont été prises en compte. Les évaluations de dose par inhalation et de dose externe les plus élevées sont obtenues en utilisant une vitesse de dépôt de $0,05 \text{ m.s}^{-1}$.

Les doses efficaces reçues par la population de Tureia varient de 1,3 à 1,9 mSv pour les adultes et de 1,5 à 3,5 mSv pour les enfants âgés de 1 à 2 ans, qui constituent la population la plus exposée. Elles sont inférieures à la valeur guide de 5 mSv à ne pas dépasser pour le public qui était en vigueur en 1971, mais elles sont supérieures à la valeur guide à ne pas dépasser pour le public actuellement en vigueur, qui est de 1 mSv.

Les doses à la thyroïde reçues par la population de Tureia varient de 1 à 8 mSv pour les adultes et de 4 à 27 mSv pour les enfants âgés de 1 à 2 ans ayant bu de l'eau de citerne, qui constituent la population la plus exposée.

Dans tous les cas, la principale contribution à la dose à la thyroïde est la consommation d'eau des citernes de l'atoll.

6 - Descripteurs proposés

Essai nucléaire atmosphérique, impact radiologique, ENCELADE.

Calcul de l'impact dosimétrique des retombées de l'essai ENCELADE à Tureia

Sommaire

I - INTRODUCTION	7
II - CONTEXTE	7
III - METHODOLOGIE DE CALCUL	7
III.1 - METHODE DE CALCUL	7
III.1.1 - Doses par inhalation.....	8
III.1.2 - Doses efficaces par irradiation externe	8
III.1.3 - Doses par ingestion.....	9
III.2 - ORIGINE DES DONNEES.....	10
III.2.1 - Coefficients de dose.....	10
III.2.2 - Ration alimentaire	11
IV - DONNEES METEOROLOGIQUES	13
V - TERME SOURCE	14
V.1 - ACTIVITES EMISES	14
V.2 - ISOTOPES PREPONDERANTS LORS DE L'ARRIVEE A TUREIA.....	14
VI - BILAN DES MESURES ENVIRONNEMENT	15
VI.1 - MESURES "PHYSIQUES"	15
VI.1.1 - Activités dans l'air.....	15
VI.1.2 - Dépôts.....	15
VI.1.3 - Eaux de boisson.....	15
VI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX BIOLOGIQUES	16
VI.2.1 - Mollusques et crustacés.....	16
VI.2.2 - Végétaux.....	16
VI.2.3 - Viande.....	16
VI.2.4 - Poisson	16
VII - CALCULS DE DOSES	17
VII.1 - DOSES PAR INHALATION.....	17
VII.1.1 - Dose efficace par inhalation.....	17
VII.1.2 - Dose à la thyroïde par inhalation.....	17
VII.2 - DOSES PAR IRRADIATION EXTERNE.....	18
VII.2.1 - Irradiation externe par le panache.....	18

VII.2.2 - Irradiation externe par les dépôts.....	18
VII.3 - DOSES PAR INGESTION AVEC PRISE EN COMPTE DE RATIONS ALIMENTAIRES.....	20
VII.3.1 - Dose due à la consommation d'eau de citerne.....	20
VII.3.2 - Dose due à la consommation d'eau de coco.....	21
VII.3.3 - Dose due à la consommation de fruits.....	22
VII.3.4 - Dose due à la consommation de produits animaux.....	23
VIII - BILAN DES DOSES ESTIMEES.....	26
IX - COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS.....	27
X - CONCLUSION.....	32
XI - ANNEXE 1 : DONNEES DE CALCUL.....	33
XI.1 - ISOTOPES MAJORITAIRES DANS LE TERME SOURCE.....	33
XI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX.....	35
XI.2.1 - Activité de l'air.....	35
XI.2.2 - Activité dans les eaux de boisson.....	36
XI.2.3 - Activité dans les aliments.....	37
XI.3 - COEFFICIENTS DE DOSE.....	41
XII - REFERENCES.....	45

Liste des figures

Figure 1 : Evolution de la dose due au dépôt (mSv) en fonction du temps de présence pour un dépôt de $2,2 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$	19
Figure 2 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace – Enfants de 1 à 2 ans consommant l'eau la moins contaminée.....	28
Figure 3 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace – Enfants de 1 à 2 ans consommant l'eau la plus contaminée.....	28
Figure 4 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace – Adultes consommant l'eau la moins contaminée.....	29
Figure 5 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace – Adultes consommant l'eau la plus contaminée.....	29
Figure 6 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde – Enfants de 1 à 2 ans consommant l'eau la moins contaminée.....	30
Figure 7 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde – Enfants de 1 à 2 ans consommant l'eau la plus contaminée.....	30
Figure 8 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde – Adultes consommant l'eau la moins contaminée.....	31
Figure 9 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde – Adultes consommant l'eau la plus contaminée.....	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Débits respiratoires utilisés pour les différentes classes d'âge ($m^3.s^{-1}$)	10
Tableau 2 : Rations alimentaires considérées dans cette étude ($g.j^{-1}$)	12
Tableau 3 : Dose efficace par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)	17
Tableau 4 : Dose à la thyroïde par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)	17
Tableau 5 : Dose efficace par irradiation sur le panache (mSv).....	18
Tableau 6 : Evolution de la dose efficace par irradiation due aux dépôts en fonction du temps d'exposition – présence des 2/3 à l'extérieur	19
Tableau 7 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau	20
Tableau 8 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'eau	20
Tableau 9 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau de coco – calcul à partir de l'activité mesurée en ^{95}Zr	21
Tableau 10 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'eau de coco – calcul à partir de l'activité mesurée en ^{95}Zr	21
Tableau 11 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de fruits – calcul à partir de l'activité mesurée en ^{95}Zr	22
Tableau 12 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de fruits calcul à partir de l'activité mesurée en ^{95}Zr	22
Tableau 13 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de viande (poulet).....	23
Tableau 14 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de viande (poulet).....	23
Tableau 15 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de poissons	24
Tableau 16 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de poissons	24
Tableau 17 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de mollusques et crustacés	25
Tableau 18 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de mollusques	25
Tableau 19 : Synthèse des doses efficaces (mSv)	26
Tableau 20 : Synthèse des doses internes à la thyroïde (mSv)	26
Tableau 21 : Isotopes présents dans le nuage et le dépôt (hors gaz rares) à 15 heures	34
Tableau 22 : Activités volumiques dans l'air relevées à Tureia de juin à juillet 1971 ($Bq.m^{-3}$)	35
Tableau 23 : Activité (mélange de PF) dans l'eau de la citerne de Fariki ($Bq.l^{-1}$)	36
Tableau 24 : Activité (mélange de PF) dans l'eau de la citerne du Tavana ($Bq.l^{-1}$)	36
Tableau 25 : Activité (mélange de PF) dans l'eau de la citerne n°2 (devant l'église) ($Bq.l^{-1}$).....	36
Tableau 26 : Activité par isotope dans une eau de citerne ($Bq.l^{-1}$)	36
Tableau 27 : Activité β - γ globale dans des aliments de Tureia ($Bq.kg^{-1}$)	37
Tableau 28 : Activité des radionucléides dans des végétaux de Tureia ($Bq.kg^{-1}$).....	37
Tableau 29 : Activité des radionucléides dans de l'eau de coco ($Bq.l^{-1}$)	38
Tableau 30 : Activité des radionucléides relevée dans des produits animaux de Tureia ($Bq.kg^{-1}$).....	40
Tableau 31 : Coefficients de dose efficace par inhalation	42
Tableau 32 : Coefficients de dose efficace par ingestion.....	43

Tableau 33 : Coefficients de dose à la thyroïde par inhalation.....	43
Tableau 34 : Coefficients de dose à la thyroïde par ingestion.....	44

I - INTRODUCTION

L'objet de ce document est de réévaluer l'impact dosimétrique, sur la population de Tureia, des retombées de l'essai atmosphérique ENCELADE, réalisé le 12 juin 1971.

Toutes les voies d'atteinte sont considérées : l'inhalation (doses efficaces et doses à la thyroïde), l'irradiation externe (doses efficaces par le panache et les dépôts), l'ingestion (doses efficaces et doses à la thyroïde).

II - CONTEXTE

L'essai ENCELADE, d'une énergie de 440 kt, a été réalisé sous un ballon de 14 000 m³ gonflé à l'hélium.

Cet essai a eu lieu le 12 juin 1971, à 19h15 TU, à partir de la zone Dindon de Mururoa. Les coordonnées géographiques du point "zéro" sont 21°52'34" S et 139°00'14"W, c'est-à-dire à 1400 m du Poste Enregistrement Avancé (PEA) Dindon ; l'altitude du tir était de 450 m.

III - METHODOLOGIE DE CALCUL

III.1 - METHODE DE CALCUL

Pour évaluer l'impact des retombées de cet essai, on dispose de mesures d'activités, exprimées en β global, notamment dans de l'eau prélevée dans des citernes de Tureia, situé à environ 120 km au nord-ouest de Mururoa.

Il faut noter que, dans ce document, les calculs d'impact à long terme, prenant en compte la remise en suspension, ne sont pas réalisés.

Les dépôts mesurés et les données dans les échantillons biologiques disponibles ont servi aux calculs de doses efficaces par irradiation externe, inhalation et ingestion.

Comme la plupart des résultats de mesures sont exprimés en β global, la répartition des radionucléides dans le dépôt ou dans les échantillons prélevés est déduite du terme source calculé par le CEA/DAM, en prenant en compte la décroissance radioactive et les filiations de chaque radionucléide du terme source et en supposant que le transport atmosphérique n'a provoqué aucune discrimination physico-chimique entre les radionucléides.

L'activité de chaque radionucléide dans les différents milieux est calculée au cours du temps à l'aide des données de la base JEFF, version 3.1 [1]. Sur les 1300 isotopes présents initialement dans le terme source, environ 1000 sont des isotopes radioactifs. Après 15 heures de décroissance, délai correspondant au maximum de la retombée à Tureia, 70 isotopes contribuent majoritairement à l'activité globale. La liste de ces isotopes majoritaires en termes d'activité dans le dépôt et dans l'air figure dans le Tableau 21 en annexe.

Une répartition des radionucléides dans les différents milieux peut ainsi être prise en compte à partir des calculs effectués par le CEA/DAM. Faute d'informations sur les transferts des radionucléides vers la chaîne alimentaire, on suppose que la répartition calculée à partir du terme source est valable dans les échantillons.

Par la suite, pour chaque isotope présent sous forme d'aérosol dans le panache, l'activité volumique intégrée sur le temps de la retombée, exprimée en Bq.s.m⁻³, est déduite du dépôt au sol, exprimé en Bq.m⁻², à partir de la vitesse de dépôt Vd, en m.s⁻¹.

$$\text{Act vol intégrée} = \frac{\text{Dépôt}}{\text{Vd}}$$

Pour l'évaluation des activités volumiques intégrées sur le temps de passage du panache des radionucléides sous forme d'aérosols dans l'air, on a considéré deux valeurs possibles de vitesse de dépôt : $5 \cdot 10^{-2}$ et $3 \cdot 10^{-1} \text{ m.s}^{-1}$. En effet, compte tenu de la répartition en taille des aérosols formés lors d'un essai nucléaire, les vitesses de dépôt de ceux-ci se situent majoritairement entre ces valeurs car le panache radioactif est arrivé rapidement à Tureia (moins d'une journée après l'essai) et qu'il a plu lors du passage du nuage sur Tureia.

L'activité des gaz rares, qui sert uniquement au calcul de la dose par irradiation externe par le panache, est déduite de l'activité des aérosols à l'aide des ratios de leurs activités respectives par rapport à l'activité totale dans le panache à l'instant de calcul considéré.

III.1.1 - DOSES PAR INHALATION

La dose par inhalation due à l'ensemble des isotopes, exprimée en Sv, est égale à la somme des produits de l'activité volumique intégrée sur le temps de passage du panache pour chaque isotope par le débit respiratoire QR_i , exprimé en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, fonction de l'âge de la personne, et du coefficient de dose, soit efficace, soit à la thyroïde, $CD \text{ inhal}_{i,j}$, qui s'exprime en $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1} \text{ inhalé}$, et est fonction de l'isotope et de sa forme physico-chimique ainsi que de l'âge de la personne :

$$\text{Dose inhal} = \sum_i (\text{Act vol intégrée}_i \times QR_i \times CD \text{ inhal}_{i,j})$$

Les gaz rares ne contribuent pas à la dose par inhalation.

Pour les calculs de doses internes, différentes classes d'âge ont été retenues, du bébé à l'adulte.

Les résultats sont exprimés en termes de dose efficace, due à l'ensemble des isotopes du terme source, ainsi que de dose à la thyroïde, essentiellement due aux iodes et, en moindre part, aux tellures.

Les retombées à Tureia s'étant produites durant la nuit, la dose par inhalation, efficace ou à la thyroïde, est calculée en supposant que l'individu exposé se trouve à l'intérieur de son habitation pendant le passage du panache. L'activité volumique à l'intérieur est supposée égale à la moitié de l'activité volumique à l'extérieur.

III.1.2 - DOSES EFFICACES PAR IRRADIATION EXTERNE

Ces doses sont identiques quel que soit l'âge de l'individu.

III.1.2.1 - Irradiation externe par le panache

La dose efficace due à l'irradiation externe par le panache, exprimée en Sv, est égale à la somme des produits de l'activité volumique intégrée de chaque isotope présent dans le panache, par le coefficient de dose efficace pour la voie "irradiation externe par le panache", $CD \text{ pch}_i$, qui s'exprime en $\text{Sv}/(\text{Bq} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^3)$ et est fonction de l'isotope :

$$\text{Dose externe panache} = \sum_i (\text{Act vol intégrée}_i \cdot CD \text{ pch}_i)$$

Les retombées à Tureia s'étant produites durant la nuit, la dose par irradiation par le panache est calculée pour un individu présent dans son habitation. L'activité volumique à l'intérieur est supposée égale à la moitié de l'activité volumique à l'extérieur.

Pour les aérosols, l'activité volumique intégrée sur le temps de passage du panache est identique à celle utilisée pour le calcul de la dose par inhalation. Comme indiqué précédemment, les rapports

entre les activités des gaz rares et celles des autres isotopes du terme source sont identiques à ceux calculés à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

III.1.2.2 - Irradiation externe par les dépôts

Connaissant les activités déposées pour les différents isotopes, on peut en déduire, dans un premier temps, le débit de dose dû au dépôt. Celui-ci, exprimé en Sv.h^{-1} , est égal à la somme des produits du dépôt par isotope par le coefficient de dose efficace, pour la voie "irradiation externe par le dépôt", $\text{CD}_{\text{dépôt } i}$, qui s'exprime en $(\text{Sv.h}^{-1})/(\text{Bq.m}^{-2})$, et est fonction de l'isotope :

$$\text{Débit de dose externe dépôt} = \sum_i (\text{Dépôt}_i \times \text{CD}_{\text{dépôt } i})$$

Puis, par intégration pour différentes durées d'exposition, on évalue la dose due au dépôt, en prenant en compte la décroissance radioactive de l'isotope, caractérisé par sa constante radioactive $\lambda_{\text{rad } i}$. Cette dose évolue au cours du temps, selon la durée de présence T de l'individu considéré sur le dépôt. Cette dose perdure au-delà du passage du panache.

$$\text{Dose externe dépôt} = \sum_i \left(\frac{\text{Débit de dose dépôt}_i [1 - \exp(-\lambda_{\text{rad } i} T)]}{\lambda_{\text{rad } i}} \right)$$

Dans le calcul de la dose intégrée due au dépôt, on considère un coefficient d'atténuation, prenant en compte le fait que les individus concernés passent une partie du temps à l'intérieur des habitations et se déplacent. De plus, on a supposé que la dose due au dépôt est nulle pendant les 6 premières heures, car les personnes étaient à l'intérieur de leurs habitations pendant la nuit.

III.1.3 - DOSES PAR INGESTION

Cette dose est due à la consommation d'aliments produits localement, contaminés par les retombées radioactives. Cette dose est fonction de l'âge de l'individu ; elle dépend donc de sa consommation.

Comme pour les doses par inhalation, les résultats sont exprimés en termes de dose efficace, due à l'ensemble des isotopes du terme source, ainsi que de dose à la thyroïde, essentiellement due aux iodes et, en moindre part, aux tellures.

Les calculs de dose par ingestion se font à partir des activités en β global effectivement mesurées dans les aliments d'origine locale. La répartition des activités des isotopes dans les différents aliments à la date considérée est supposée identique à la répartition des activités dans le dépôt, calculée à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

Lorsqu'on connaît l'activité par isotope dans l'aliment considéré, exprimée en Bq.kg^{-1} , la dose par ingestion se calcule par la somme, sur les différents isotopes, des produits de l'activité en Bq.kg^{-1} , par la consommation, en kg et le coefficient de dose par ingestion, $\text{CD}_{\text{ing } i,j}$, soit efficace, soit à la thyroïde, qui s'exprime en Sv par Bq ingéré :

$$\text{Dose ingestion} = \sum_i (\text{Act}_{\text{aliment } i} \times \text{conso}_j \times \text{CD}_{\text{ingestion } i,j})$$

III.2 - ORIGINE DES DONNEES

III.2.1 - COEFFICIENTS DE DOSE

III.2.1.1 - Doses efficaces internes

Pour le calcul des doses efficaces internes, par inhalation et par ingestion, les coefficients de dose proviennent de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 [2]. Ils sont rappelés dans le Tableau 31 et le Tableau 32, pages 42 et 43.

Dans le cas des doses par inhalation, la forme physico-chimique associée aux différents isotopes est celle recommandée, soit par ce même arrêté, soit par la Directive Européenne [3], soit par la CIPR 71-72 [4]. En ce qui concerne les doses à la thyroïde, les coefficients de dose proviennent de la CIPR 71-72. Pour la voie inhalation, les coefficients de dose correspondent à une granulométrie des aérosols de 1 μm , valeur habituellement utilisée pour les calculs de dose au public.

Les coefficients de dose à la thyroïde figurent dans le Tableau 33 et le Tableau 34, pages 43 et 44.

Pour la voie inhalation, l'iode est supposé émis sous forme vapeur.

Le panache étant arrivé de nuit sur Tureia, les débits respiratoires sont ceux indiqués dans la CIPR-66 pendant le sommeil [5].

Classe d'âge	Bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Débit respiratoire ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$2,50 \cdot 10^{-5}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$	$6,67 \cdot 10^{-5}$	$8,61 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$

Tableau 1 : Débits respiratoires utilisés pour les différentes classes d'âge ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

III.2.1.2 - Doses efficaces externes

Pour la voie irradiation externe par le panache et les dépôts, les coefficients de dose proviennent du rapport Federal Guidance n°12 [6]. Les coefficients de dose due au dépôt sont rappelés dans le Tableau 31, page 42.

Dans les calculs de dose due aux dépôts présentés dans cette étude, on suppose que les personnes passent 2/3 de leur temps à l'extérieur sur les dépôts. Cette hypothèse est conservative, notamment sur des longues périodes.

III.2.2 - RATION ALIMENTAIRE

Dans les documents de base, la ration alimentaire n'est disponible que pour des adultes. Pour les autres classes d'âge, on a évalué une consommation fonction de l'âge, qui est indiquée dans les différents tableaux présentant les résultats des doses.

Catégorie	Aliment	Tureia	
		Quantité	
		par aliment	par catégorie
boisson	eau	1000	
	eau de citerne		
	eau de coco	2000	
	lait		
poissons	thon		470
	bonite		
	ature		
	inaa		
viandes	poissons haute mer	30	
	poissons lagon	440	
viandes	poulet	10	30
	porc	10	
	bœuf		
	chien	10	
mollusques	turbo	60	190
	bénitier	100	
	poulpe	30	
	autres mollusques		
crustacés	chevrettes		20
	langouste	20	
coprah		220	220
fruits plantes arborescentes	banane	50	170
	papaye	60	
	citron		
	mangue		
	avocat		
	pamplemousse		
	uru	60	
autres fruits			
fruits plantes herbacées	ananas		
	tomates		
	concombre		
	aubergine		
	autres fruits		
légumes feuilles	salade		
	chou		
	poireau		
	fafa		
	autres légumes		

Catégorie	Aliment	Tureia	
		Quantité	
		par aliment	par catégorie
racines et tubercules	taro		
	patate douce		
	tarua		
	navet		
	carotte		
	manioc		
	autres		
	total origine locale		1100

Tableau 2 : Rations alimentaires considérées dans cette étude (g.j⁻¹)

IV - DONNEES METEOROLOGIQUES

L'essai ENCELADE a subi un retard de quelques jours à cause de conditions météorologiques défavorables. En effet, quelques jours avant l'opération, une petite dépression s'était creusée très vite entre Hao et Hereheretue, sur un front froid intéressant l'archipel des Tuamotu.

Cette dépression a fait route au sud-est et s'est traduite, à Mururoa, par quelques heures de calme complet, puis une montée brutale des vents à 15 à 18 m.s⁻¹ (30 à 35 nœuds), accompagnée d'une rotation de 90° et de forts grains de pluie.

Le jour du tir, les vents au sol venaient du sud-est avec une vitesse de 5 m.s⁻¹. En altitude, le régime des vents était mal établi. Les vents venaient du sud-ouest, avec une vitesse assez faible, de l'ordre de 10 m.s⁻¹ à 9000 m. Pour des niveaux supérieurs, les vents venaient de l'ouest avec des vitesses de l'ordre de 20 m.s⁻¹. La tête du nuage, qui s'est stabilisé à H+10 minutes, a atteint 17 000 m, sa base 13 500 m. Son rayon était de 13 000 m.

Il a plu à Tureia entre H+10 (c'est-à-dire vers 20h15 Victor) et H+11.

V - TERME SOURCE

Le CEA/DAM a évalué le nombre de noyaux d'environ 1300 isotopes, stables et radioactifs, émis dans le panache à l'instant initial.

V.1 - ACTIVITES EMISES

A l'instant initial, l'activité totale est due à des isotopes tels que ^{97}Sr , ^{96}Sr , ^{128}In , ^{95}Rb , ^{98}Y , ..., isotopes de périodes très courtes (inférieures à quelques secondes) et qui ne sont pas, pour la plupart, dans les bases de données de coefficients de dose.

V.2 - ISOTOPES PREPONDERANTS LORS DE L'ARRIVEE A TUREIA

Le terme source calculé par le CEA/DAM a été exploité à l'aide de la version 3.1 de la base de données JEFF [1], afin de connaître l'évolution de la répartition en isotopes à différents instants, notamment à $T + 8\text{h}50$, temps d'arrivée du panache à Tureia.

A l'heure de la retombée maximale à Tureia, c'est-à-dire environ 15 heures après l'essai, les isotopes majoritaires en terme d'activité sont ^{135}Xe , ^{93}Y , ^{92}Y , ^{97}Nb ... qui correspondent chacun à plus de 6,5% de l'activité globale (cf. Tableau 21). L'isotope ^{133}I contribue à 6,4% de l'activité et ^{135}I contribue à 6,1% de l'activité totale.

VI - BILAN DES MESURES ENVIRONNEMENT

VI.1 - MESURES "PHYSIQUES"

A Tureia, le début de la retombée, due principalement à des précipitations, a été observé à H+8h50 (c'est-à-dire 19h05 V, heure locale).

Le maximum de cette retombée a été observé de H+12h35 à H+15h10, c'est-à-dire durant la nuit, entre 22h50 V et 01h35 V. La fin de la retombée est estimée à H+24.

Le débit de dose associé était de 30 à 60 $\mu\text{Gy.h}^{-1}$ (3 à 6 mrad γ^{-1}).

VI.1.1 - ACTIVITES DANS L'AIR

On dispose de mesures de l'activité dans l'air après l'essai ENCELADE ; ces mesures ne sont citées ici qu'à titre indicatif ; elles ne sont pas utilisées dans les calculs d'impact ultérieurs car il s'agit de valeurs instantanées, insuffisantes pour le calcul de la dose par irradiation externe par le panache et de la dose interne par inhalation.

L'activité maximale relevée à Tureia est de 66 Bq.m^{-3} dans l'après-midi du 13 juillet 1971. Du 12 juin au 15 juillet 1971, l'activité volumique intégrée sur le temps est de l'ordre de 88 Bq.j.m^{-3} (cf. Tableau 22, page 35).

VI.1.2 - DEPOTS

A Tureia, un prélèvement réalisé pendant la retombée a indiqué un dépôt de $1,2 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$. Le dépôt maximal était de $2,2 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$ ($600 \mu\text{Ci.m}^{-2}$).

VI.1.3 - EAUX DE BOISSON

Les mesures de l'activité de l'eau prélevée dans des citernes de Tureia disponibles figurent en annexe, du Tableau 23 au Tableau 26, page 36.

Les activités maximales sont observées dans les citernes de Fariki et de Tavana (74000 et 70300 Bq.l^{-1}), le jour des retombées (13 juin 1971).

VI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX BIOLOGIQUES

Les mesures dans les milieux biologiques sont limitées ; elles sont indiquées en annexe, page 37 et suivantes. Le Tableau 27 présente une synthèse des activités dans différents aliments prélevés à Tureia, après l'essai.

VI.2.1 - MOLLUSQUES ET CRUSTACES

Les activités les plus importantes ont été relevées dans un bénitier et un turbo ; dans ces deux aliments, l'activité globale est légèrement inférieure à 2000 Bq.kg^{-1} (cf. Tableau 27).

Le Tableau 30 indique près de 2000 Bq.kg^{-1} en ^{95}Zr , 126 Bq.kg^{-1} en ^{131}I et 74 Bq.kg^{-1} en ^{103}Ru , dans du turbo prélevé en juillet 1974. Les activités β globales déduites des différentes mesures par isotope, en supposant que la répartition de l'activité des isotopes est identique entre le terme source et les mollusques, varient de près de 29000 Bq.kg^{-1} (en partant de la mesure en ^{95}Zr) à 2500 Bq.kg^{-1} au plus à partir de l'activité des autres isotopes. Etant donné que la date exacte du prélèvement n'est pas connue et qu'elle conduit à des résultats peu cohérents sur l'activité globale, les mesures d'activité dans le turbo ne sont pas utilisées dans la suite.

Les activités dans la langouste sont de 22 Bq.kg^{-1} en ^{95}Zr et 19 Bq.kg^{-1} en ^{103}Ru le 14 août (cf. Tableau 30). Selon l'isotope considéré, l'activité globale est alors de 171 Bq.kg^{-1} ou 262 Bq.kg^{-1} . Cette mesure étant tardive et conduisant à une activité globale plus faible que celle mesurée dans des mollusques (de l'ordre de 2000 Bq.kg^{-1} le 2 juillet dans du bénitier et du turbo - cf. Tableau 27 et Tableau 30), ces mesures ne seront pas non plus prises en compte dans les calculs.

VI.2.2 - VEGETAUX

Quelques mesures dans les végétaux de Tureia et dans de l'eau de coco sont également disponibles. Les mesures dans les végétaux sont relativement tardives, du 15 au 21 juillet, (cf. Tableau 28, page 37). Du ^{137}Cs , ^{95}Zr et ^{90}Sr ont été mesurés dans l'eau de coco le 12 juillet (cf. Tableau 29, page 38).

VI.2.3 - VIANDE

L'activité maximale dans du poulet est de 54 Bq.kg^{-1} , le 22 juillet 1971 (cf. Tableau 27), c'est-à-dire plus d'un mois après l'essai.

D'autres mesures dans des produits animaux, terrestres ou marins, figurent dans le Tableau 30, page 40. Si on utilise les activités mesurées dans du poulet indiquées dans ce tableau ($14,4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{95}Zr et $5,2 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{103}Ru le 7 juillet), en supposant, faute d'informations plus précises sur les transferts, que la répartition en activité des différents isotopes est identique dans le terme source et le poulet, l'activité globale calculée dans le poulet varie, selon l'isotope, entre 200 Bq.kg^{-1} et 100 Bq.kg^{-1} .

VI.2.4 - POISSON

L'activité globale maximale dans du poisson de lagon est de 54 Bq.kg^{-1} , le 7 juillet 1971 (cf. Tableau 27). A la même date, l'activité mesurée dans le poisson de récif est de 23 Bq.kg^{-1} . Le 25 juin, l'activité dans du poisson de traine est de 43 Bq.kg^{-1} .

Si on utilise les activités des isotopes, telles que celles présentées dans le Tableau 30 ($25,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{95}Zr dans du perroquet le 2 juillet), en supposant faute d'informations plus précises sur les transferts, que la répartition en activité des différents isotopes est identique dans le terme source et le poisson, l'activité globale dans le poisson est de l'ordre de 400 Bq.kg^{-1} , ce qui est plus élevé que les mesures. Cette valeur permettra de calculer une dose "maximale".

VII - CALCULS DE DOSES

Dans les calculs, on considère que le panache est arrivé à H+15 à Tureia, valeur intermédiaire entre H+9 h (arrivée de la retombée) et H+24 (fin de la retombée) et cohérente avec l'heure de la retombée maximale (entre H+12h35 et H+15h10).

VII.1 - DOSES PAR INHALATION

L'activité dans l'air des différents isotopes est estimée en prenant en compte deux vitesses de dépôt :

- une vitesse de dépôt de $5 \cdot 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$, conduisant aux activités dans l'air les plus élevées, et une évaluation maximale de la dose due à l'irradiation externe par le panache et de la dose par inhalation,
- une vitesse de dépôt assez élevée, $3 \cdot 10^{-1} \text{ m.s}^{-1}$, valeur proposée historiquement pour des retombées proches.

L'activité volumique dans l'air, intégrée sur le temps de la retombée, est déduite de la valeur de dépôt la plus élevée relevée à Tureia, à savoir $2,2 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$. On a considéré que les activités à l'intérieur des habitations sont deux fois plus faibles que les activités déduites du dépôt, à l'extérieur.

Les débits respiratoires sont les débits correspondant au sommeil (cf. Tableau 1, page 10).

VII.1.1 - DOSE EFFICACE PAR INHALATION

Classe d'âge		Bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Débit respiratoire ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		$2,50 \cdot 10^{-5}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$	$6,67 \cdot 10^{-5}$	$8,61 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$
Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	$3 \cdot 10^{-1}$	0,007	0,010	0,009	0,006	0,005	0,004
	$5 \cdot 10^{-2}$	0,044	0,062	0,051	0,035	0,032	0,024

Tableau 3 : Dose efficace par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)

La dose efficace la plus élevée, de l'ordre de 0,06 mSv, est calculée pour la vitesse de dépôt de $5 \cdot 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$ car l'activité volumique intégrée sur le temps de la retombée est plus importante avec cette hypothèse.

VII.1.2 - DOSE A LA THYROÏDE PAR INHALATION

Classe d'âge		Bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Débit respiratoire ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		$2,50 \cdot 10^{-5}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$	$6,67 \cdot 10^{-5}$	$8,61 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$
Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	$3 \cdot 10^{-1}$	0,09	0,14	0,12	0,07	0,06	0,04
	$5 \cdot 10^{-2}$	0,54	0,82	0,70	0,42	0,36	0,25

Tableau 4 : Dose à la thyroïde par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)

La dose à la thyroïde la plus élevée, de l'ordre de 0,8 mSv, est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans pour la vitesse de dépôt de $5 \cdot 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$ car, d'une part l'activité volumique intégrée sur le temps de la retombée est plus importante avec cette hypothèse de vitesse de dépôt, d'autre part, le produit du coefficient de dose à la thyroïde par inhalation et du débit respiratoire est le plus élevé pour cette classe d'âge.

VII.2 - DOSES PAR IRRADIATION EXTERNE

Ces doses sont identiques quel que soit l'âge de l'individu.

VII.2.1 - IRRADIATION EXTERNE PAR LE PANACHE

La dose par irradiation par le panache est calculée pour un individu présent dans son habitation pendant le passage du panache. Comme indiqué plus haut, on a considéré que les activités à l'intérieur des habitations étaient deux fois plus faibles que les activités déduites du dépôt, à l'extérieur.

Pour les aérosols, l'activité volumique de l'air intégrée sur le temps de passage du panache est identique à celle utilisée pour le calcul de la dose par inhalation. Le rapport entre les gaz rares et les autres isotopes du terme source est déduit de celui estimé à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

L'isotope qui contribue le plus à la dose, à 17%, est le ^{135}I .

Dépôt (Bq.m^{-2})	$2,2 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$	
Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	$5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-1}$
Dose tous isotopes (mSv)	$8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$

Tableau 5 : Dose efficace par irradiation par le panache (mSv)

La dose par irradiation externe par le panache est extrêmement faible, toujours inférieure à 0,01 mSv, quelle que soit la vitesse de dépôt associée au dépôt.

VII.2.2 - IRRADIATION EXTERNE PAR LES DEPOTS

Connaissant l'activité déposée pour les différents isotopes, on peut en déduire, dans un premier temps, le débit de dose dû au dépôt, puis par intégration pour différents temps d'exposition, la dose due au dépôt. Celle-ci évolue au cours du temps, selon la durée de présence de l'individu considéré sur le dépôt. Elle perdure au-delà du passage du panache.

On a supposé que l'irradiation due au dépôt est nulle pendant la nuit, c'est-à-dire pendant les 6 premières heures ; de plus, on a supposé que, par la suite, les personnes passaient 2/3 du temps à l'extérieur, quelle que soit la durée d'exposition.

Le débit de dose calculé à H+12 est de $18 \mu\text{Sv.h}^{-1}$. Cette valeur est environ trois fois plus faible que la mesure de $60 \mu\text{Gy.h}^{-1}$, relevée à proximité du dépôt de $2,2 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$. Elle est toutefois globalement cohérente avec cette mesure.

Dépôt initial	$2,2 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$	Isotopes contribuant le plus à la dose
tps présence	dose dépôt (mSv)	
1 jour	0,15	^{132}Te (17%), ^{97}Zr (15%), ^{135}I (14%), ^{91}Sr (13%), ^{133}I (12%)
2 jours	0,33	^{132}Te (21%), ^{97}Zr (14%), ^{133}I (12%), ^{135}I (11%), ^{91}Sr (11%)
1 semaine	0,62	^{132}Te (29%), ^{140}Ba (16%), ^{97}Zr (10%), ^{133}I (9%), ^{91}Sr (7%)
2 semaines	0,78	^{132}Te (29%), ^{140}Ba (22%), ^{97}Zr (8%), ^{133}I (7,5%), ^{91}Sr (6%)
1 mois	0,94	^{140}Ba (28%), ^{132}Te (26%), ^{97}Zr (7%), ^{133}I (6%), ^{91}Sr (5%)
6 mois	1,12	^{140}Ba (30%), ^{132}Te (22%), ^{95}Zr (9%), ^{97}Zr (6%), ^{133}I (5%)

Tableau 6 : Evolution de la dose efficace par irradiation due aux dépôts en fonction du temps d'exposition – présence des 2/3 à l'extérieur

Dose due au dépôt en supposant un taux de présence des 2/3 à l'extérieur

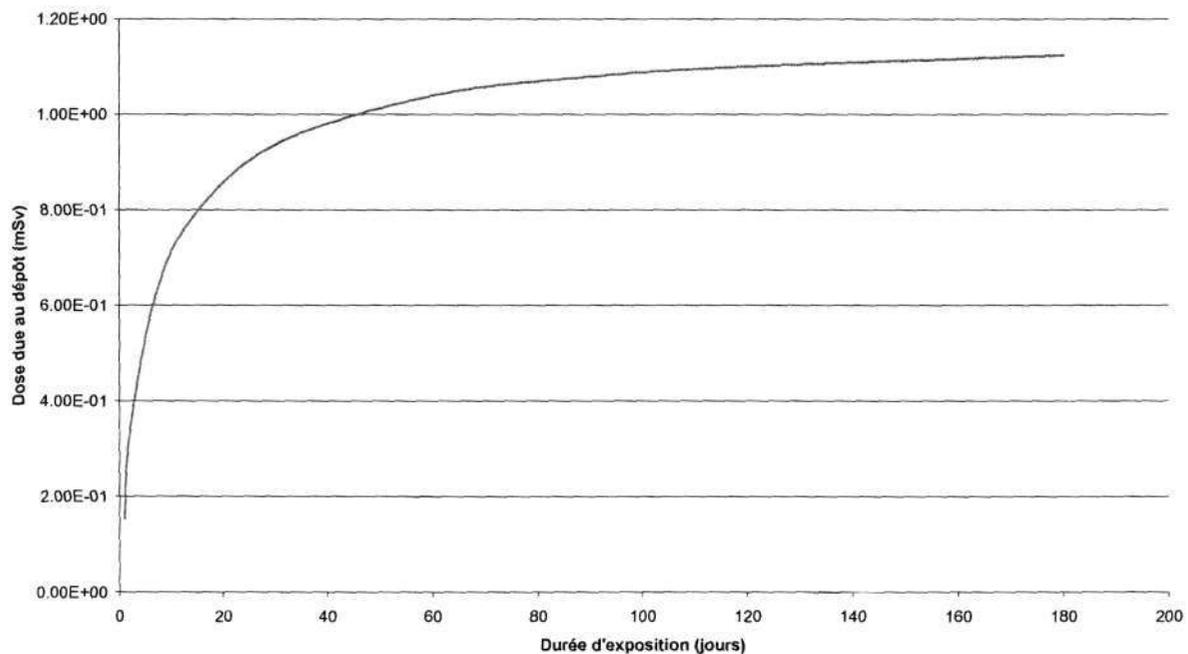


Figure 1 : Evolution de la dose due au dépôt (mSv) en fonction du temps de présence pour un dépôt de $2,2 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$

La dose due au dépôt augmente rapidement au début de l'exposition. Par la suite, après la disparition des isotopes à vie courte, elle se stabilise à environ 1,1 mSv après 6 mois avec un taux de présence des 2/3 à l'extérieur.

VII.3 - DOSES PAR INGESTION AVEC PRISE EN COMPTE DE RATIONS ALIMENTAIRES

Les quantités ingérées quotidiennement par les adultes sont indiquées dans le Tableau 2, page 12.

Il faut noter qu'à Tureia, il n'y a, ni consommation de légumes feuilles, ni consommation de lait produit localement. Ces voies d'atteinte ne sont donc pas prises en compte dans les calculs.

VII.3.1 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION D'EAU DE CITERNE

Deux calculs sont effectués à partir des mesures dans les citernes de Tureia :

- à partir d'une mesure d'activité en β - γ global de $7,4 \cdot 10^4 \text{ Bq.l}^{-1}$ dans l'eau de la citerne de Fariki, le 13 juin (cf. Tableau 23), permettant d'évaluer une dose pouvant être qualifiée de "maximale",
- à partir d'une mesure d'activité en β - γ global de $1 \cdot 10^4 \text{ Bq.l}^{-1}$ dans l'eau de la citerne de l'église, le 13 juin (cf. Tableau 25), permettant d'estimer une dose "minimale".

Les consommations d'eau sont fonction de la classe d'âge et du lieu d'habitation.

On a utilisé la valeur de l'activité dans l'eau de citerne mesurée le 13 juin, que l'on a fait décroître pendant 1 mois.

On a supposé que la répartition de l'activité des différents isotopes est identique entre le terme source et l'eau aux différents instants.

VII.3.1.1 - Dose efficace

Classe d'âge	Citerne	Activité	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (l.j^{-1})		Bq.l^{-1}	0,30	0,5	0,5	0,75	1	1
Dose totale (mSv)	Eglise	$1 \cdot 10^4$	0,2	0,25	1,13	0,11	0,09	0,06
Dose totale (mSv)	Fariki	$7,4 \cdot 10^4$	1,4	1,8	0,90	0,76	0,61	0,45

Tableau 7 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau

Compte tenu des hypothèses de quantité d'eau consommée, la dose efficace la plus élevée est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans. Elle varie de 0,25 à 1,8 mSv selon l'activité initiale.

VII.3.1.2 - Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Citerne	Activité	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (l.j^{-1})		Bq.l^{-1}	0,30	0,5	0,5	0,75	1	1
Dose totale (mSv)	Eglise	$1 \cdot 10^4$	2	3	1,7	1,2	1,0	0,66
Dose totale (mSv)	Fariki	$7,4 \cdot 10^4$	14,5	21,1	11,8	8,3	7,3	4,7

Tableau 8 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'eau

Compte tenu des hypothèses de quantité d'eau consommée, les doses les plus élevées sont calculées pour des enfants âgés de 1 à 2 ans. Selon l'activité initiale, ces doses à la thyroïde varient de 3 à 21 mSv.

VII.3.2 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION D'EAU DE COCO

Un calcul a été réalisé à partir de mesures de dans de l'eau de coco le 12 juillet et le 10 août ($3,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{137}Cs , $0,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{95}Zr et $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{90}Sr ; cf. Tableau 29), en considérant une consommation pendant 6 mois.

Selon l'isotope considéré, l'activité globale est de 5590 Bq.kg^{-1} (^{137}Cs), de $5,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ (^{95}Zr) et de $81,6 \text{ Bq.kg}^{-1}$ (^{90}Sr). Les mesures de ^{137}Cs et ^{90}Sr , intégrant certainement des reliquats d'activité dus à d'autres essais, ne sont pas prises en compte dans le calcul de dose. C'est la valeur de ^{95}Zr qui permet de remonter à l'activité totale la plus réaliste car la contribution des essais précédents est faible pour cet isotope.

VII.3.2.1 - Dose efficace due à la consommation d'eau de coco

Classe d'âge	Isotope	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0,60	1	1	1,5	2	2
Dose 6 mois (mSv)	^{95}Zr	0,011	0,012	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$

Tableau 9 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau de coco – calcul à partir de l'activité mesurée en ^{95}Zr

Quelle que soit la classe d'âge, la dose efficace due à la consommation d'eau de coco est au plus de 0,012 mSv, pour un nourrisson ou un enfant âgé de 1 à 2 ans.

VII.3.2.2 - Dose à la thyroïde due à la consommation d'eau de coco

Classe d'âge	Isotope	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0,60	1	1	1,5	2	2
Dose 6 mois (mSv)	^{95}Zr	0,015	0,023	0,013	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$

Tableau 10 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'eau de coco – calcul à partir de l'activité mesurée en ^{95}Zr

Quelle que soit la classe d'âge, la dose à la thyroïde due à la consommation d'eau de coco est au plus de 0,023 mSv, pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

VII.3.3 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION DE FRUITS

Deux calculs ont été réalisés :

- le premier à partir d'une mesure de $2,6 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{95}Zr dans de la papaye, le 21 juillet (cf. Tableau 28), en considérant une consommation pendant 6 mois. L'activité globale déduite de cette mesure est de $25,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$.
- le second à partir de la mesure en ^{95}Zr de $2,2 \text{ Bq.kg}^{-1}$ dans du coprah le 21 juillet (cf. Tableau 28). L'activité globale déduite de cette mesure est de $22,2 \text{ Bq.kg}^{-1}$.

La consommation en papaye prend en compte la consommation totale de fruits pendant 6 mois (cf. Tableau 2), en supposant que l'activité reste égale à la valeur mesurée pendant 6 mois.

De même, la dose due à la consommation de coprah est calculée en supposant que l'activité reste égale à la valeur mesurée pendant 6 mois.

On considère des consommations fonction de la classe d'âge et on a supposé que le nourrisson ne consomme pas de fruits.

VII.3.3.1 - Dose efficace due à la consommation de fruits

Classe d'âge	Aliment	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,03	0,05	0,1	0,17	0,17
Dose 6 mois (mSv)	Papaye	-	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Conso (kg.j^{-1})		-	0,1	0,1	0,15	0,22	0,22
Dose 6 mois (mSv)	Coprah	-	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$

Tableau 11 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de fruits – calcul à partir de l'activité mesurée en ^{95}Zr

Quelle que soit la classe d'âge, la dose efficace due à la consommation de papaye est inférieure à $2,5 \cdot 10^{-3}$ mSv. La dose due à la consommation de coprah est plus élevée ; elle est au plus de l'ordre de 0,006 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

VII.3.3.2 - Dose à la thyroïde due à la consommation de fruits

Classe d'âge	Aliment	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,03	0,05	0,1	0,17	0,17
Dose 6 mois (mSv)	Papaye	-	0,01	0,011	0,011	0,012	0,0077
Conso (kg.j^{-1})		-	0,1	0,1	0,15	0,22	0,22
Dose 6 mois (mSv)	Coprah	-	0,03	0,02	0,014	0,013	0,008

Tableau 12 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de fruits calcul à partir de l'activité mesurée en ^{95}Zr

Quelle que soit la classe d'âge, la dose à la thyroïde due à la consommation de papaye est inférieure à 0,015 mSv. La dose à la thyroïde due à la consommation de coprah est au plus de 0,03 mSv, pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

VII.3.4 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION DE PRODUITS ANIMAUX

VII.3.4.1 - Consommation de viande

Deux calculs ont été effectués :

- le premier à partir des mesures de l'activité (54 Bq.kg^{-1} en β global) dans du poulet le 22 juillet (cf. Tableau 27), permettant d'évaluer une dose "minimale",
- le deuxième à partir de la mesure de $14,4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{95}Zr dans du poulet le 7 juillet (cf. Tableau 30), l'activité globale correspondante est de 189 Bq.kg^{-1} , permettant d'évaluer une dose "maximale".

Faute d'informations précises sur les transferts des différents isotopes à la viande, on a supposé que le rapport des activités dans le dépôt et la viande est identique.

On considère des consommations fonction de la classe d'âge et on a supposé que le nourrisson ne consomme pas de viande.

La consommation est supposée se produire quotidiennement pendant 6 mois, en supposant que l'activité reste égale à la valeur mesurée pendant 6 mois.

Dose efficace

Classe d'âge	Activité	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	Bq.kg^{-1}	0	0,01	0,01	0,015	0,03	0,03
Dose 6 mois (mSv)	54	-	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
Dose 6 mois (mSv)	189	-	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$

Tableau 13 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de viande (poulet)

La dose efficace due à la consommation de viande la plus élevée est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans. Elle est au plus de l'ordre de $7 \cdot 10^{-3}$ mSv.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Activité	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	Bq.kg^{-1}	0	0,01	0,01	0,015	0,03	0,03
Dose 6 mois (mSv)	54	-	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Dose 6 mois (mSv)	189	-	$5,6 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$

Tableau 14 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de viande (poulet)

Pour les enfants âgés de 1 à 2 ans, classe d'âge pour laquelle la dose est la plus élevée, la dose à la thyroïde due à la consommation de viande est au plus de 0,060 mSv.

VII.3.4.2 - Consommation de poissons

Plusieurs calculs sont effectués :

- le premier à partir de la valeur de 23 Bq.kg^{-1} en activité globale dans du poisson de récif le 7 juillet (cf. Tableau 27), conduisant à une dose "minimale",
- le second à partir de la valeur de 54 Bq.kg^{-1} en activité globale dans du poisson de lagon le 7 juillet (cf. Tableau 27),
- le troisième à partir d'une mesure de $25,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{95}Zr dans du perroquet le 2 juillet (cf. Tableau 30). L'activité globale calculée est alors de 396 Bq.kg^{-1} et permet d'évaluer une dose "maximale".

Faute d'informations précises sur les transferts des différents isotopes aux poissons, on a supposé que le rapport des activités dans le dépôt et les poissons est identique.

On considère des consommations fonction de la classe d'âge et on a supposé que le nourrisson ne consomme pas de poisson.

La consommation est supposée se produire quotidiennement pendant 6 mois, en supposant que l'activité reste égale pendant 6 mois à la valeur mesurée, ce qui est a priori pénalisant. Toutefois, cette hypothèse est prise en compte car les mesures disponibles sont tardives. Il est donc possible que des concentrations plus élevées aient été intégrées dans le poisson à des dates plus proches des retombées, conduisant à rendre réaliste l'hypothèse prise en compte.

Dose efficace

Classe d'âge	Poisson	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,15	0,20	0,30	0,47	0,47
Dose 6 mois (mSv)	Récif	-	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$
Dose 6 mois (mSv)	Lagon	-	0,03	0,02	0,018	0,017	0,013
Dose 6 mois (mSv)	Perroquet	-	0,24	0,15	0,14	0,13	0,10

Tableau 15 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de poissons

La dose efficace due à la consommation de poissons est de l'ordre de 0,24 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans en supposant une consommation journalière pendant 6 mois de poissons perroquet.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Poisson	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,15	0,20	0,3	0,47	0,47
Dose 6 mois (mSv)	Récif	-	0,13	0,10	0,07	0,08	0,05
Dose 6 mois (mSv)	Lagon	-	0,27	0,21	0,15	0,16	0,10
Dose 6 mois (mSv)	Perroquet	-	2,25	1,74	1,24	1,32	0,84

Tableau 16 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de poissons

La dose maximale à la thyroïde due à la consommation de poissons est évaluée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans et est au plus de 2,25 mSv en supposant une consommation quotidienne de poissons perroquet.

VII.3.4.3 - Consommation de crustacés et mollusques

Deux calculs ont été effectués à partir de mesures dans des crustacés (cf. Tableau 27) :

- le premier, à partir d'une mesure de 603 Bq.kg^{-1} en activité globale dans du bénitier de récif, le 7 juillet, qui permet d'évaluer une dose "minimale",
- le second, à partir d'une mesure de 1980 Bq.kg^{-1} en activité globale dans du bénitier de lagon, le 2 juillet, qui permet d'évaluer une dose "maximale".

Pour rappel, la mesure dans la langouste de $21,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{95}Zr le 14 août, correspondant à une activité β globale de 171 Bq.kg^{-1} , n'a pas été exploitée car elle est tardive.

Faute d'informations précises sur l'activité de l'eau et les transferts des différents isotopes aux mollusques, on suppose que le rapport des activités dans le dépôt et les mollusques est identique.

On considère des consommations fonction de la classe d'âge et on a supposé que le nourrisson ne consomme pas de ce type d'aliment.

Faute de mesures à des dates proches de l'essai dans les crustacés, on a pris en compte une ration correspondant au total de la quantité consommée en mollusques et crustacés.

Dose efficace

Classe d'âge	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte	mollusque
Conso (kg.j^{-1})	0	0,03	0,05	0,10	0,19	0,19	
Dose 6 mois (mSv)	-	0,07	0,05	0,065	0,072	0,056	Bénitier récif
Dose 6 mois (mSv)	-	0,24	0,19	0,24	0,26	0,20	Bénitier lagon

Tableau 17 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de mollusques et crustacés

Quelle que soit la classe d'âge considérée, la dose efficace due à la consommation de cet aliment est au plus de l'ordre de 0,25 mSv, en supposant une consommation journalière de mollusques et crustacés, dont l'activité reste égale pendant 6 mois à la valeur mesurée. La dose maximale est évaluée pour les enfants âgés de 12 à 17 ans, qui mangent autant que les adultes. La dose aux enfants âgés de 1 à 2 ans est similaire.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte	Lieu
Conso (kg.j^{-1})	0	0,03	0,05	0,10	0,19	0,19	
Dose 6 mois (mSv)	-	0,54	0,52	0,5	0,64	0,41	Bénitier récif
Dose 6 mois (mSv)	-	2,25	2,2	2,1	2,7	1,7	Bénitier lagon

Tableau 18 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de mollusques

La dose à la thyroïde due à la consommation de mollusques et crustacés est au plus de l'ordre de 3 mSv en supposant une consommation quotidienne de mollusques, dont l'activité reste égale pendant 6 mois à la valeur mesurée ; elle est évaluée pour un enfant de 12 à 17 ans.

VIII - BILAN DES DOSES ESTIMEES

Le tableau suivant synthétise les doses calculées, en indiquant les valeurs minimales et maximales évaluées pour les enfants âgés de 1 à 2 ans, classe d'âge la plus radio-sensible, et les adultes.

Valeur de dose	Enfant 1-2 ans		Adulte	
	minimale	maximale	minimale	maximale
dose dépôt 6 mois	1,12	1,12	1,12	1,12
dose panache	0,0013	0,008	0,0013	0,008
dose efficace inhalation	0,01	0,062	0,004	0,024
eau de citerne	0,25	1,8	0,06	0,45
eau de coco	0,012	0,012	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
végétaux (papaye)	0,002	0,002	0,0017	0,0017
végétaux (coprah)	0,006	0,006	0,0019	0,0019
viande	0,0014	0,0068	$6,0 \cdot 10^{-4}$	0,0028
poissons	0,013	0,24	0,0051	0,10
mollusques	0,07	0,24	0,056	0,20
total ingestion	0,4	2,3	0,1	0,8
interne				
(inhalation + ingestion)	0,4	2,4	0,1	0,8
total	1,5	3,5	1,3	1,9

Tableau 19 : Synthèse des doses efficaces (mSv)

Valeur de dose	Enfant 1-2 ans		Adulte	
	minimale	maximale	minimale	maximale
dose thyroïde inhalation	0,14	0,82	0,04	0,25
eau de citerne	3	21,1	0,66	4,7
eau de coco	0,023	0,023	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$
végétaux (papaye)	0,01	0,01	0,008	0,008
végétaux (coprah)	0,03	0,03	0,008	0,008
viande	0,007	0,056	0,0025	0,02
poissons	0,13	2,25	0,05	0,84
mollusques	0,54	2,25	0,41	1,7
total ingestion	4	26	1	7
interne				
(inhalation + ingestion)	4	27	1	8

Tableau 20 : Synthèse des doses internes à la thyroïde (mSv)

IX - COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS

La dose efficace est due à l'irradiation externe par les dépôts et, selon les activités initiales de l'eau consommée, à la consommation d'eau de citerne, qui contribue de 17% à plus de 50% à la dose efficace pour un enfant âgé de 1 à 2 ans (cf. Figure 2 et Figure 3).

Pour un adulte, la contribution de la consommation d'eau de citerne à la dose efficace varie de 5 à 24% (cf. Figure 4 et Figure 5) ; la dose due au dépôt contribue davantage à la dose efficace que dans le cas des enfants.

La dose à la thyroïde est essentiellement due à la consommation d'eau de citerne, qui contribue à plus de 50% à cette dose (cf. Figure 6 à Figure 9), quels que soient la classe d'âge ou le niveau de contamination de l'eau.

La classe d'âge la plus exposée est constituée des enfants âgés de 1 à 2 ans, qui ont une alimentation variée, composée des mêmes aliments que les adultes. On a considéré ici que la ration alimentaire des nourrissons de moins de 1 an n'était constituée que de lait et d'eau.

La dose efficace maximale pour un enfant de 1 à 2 ans vivant à Tureia est de 3,5 mSv, due en grande partie à la consommation d'eau de citerne, ainsi qu'à la dose due au dépôt. La dose efficace maximale pour un adulte est de l'ordre de 2 mSv.

Les doses internes à la thyroïde pour un enfant âgé de 1 à 2 ans et un adulte de Tureia sont respectivement de 27 et 8 mSv.

Pour un enfant âgé de 1 à 2 ans, classe d'âge la plus exposée, la dose efficace maximale, de l'ordre de 3,5 mSv, est égale à environ 4 fois la limite actuellement prévue en fonctionnement normal pour le public (1 mSv) [7] mais elle est inférieure à la limite pour le public en vigueur à l'époque de l'essai Encelade (5 mSv).

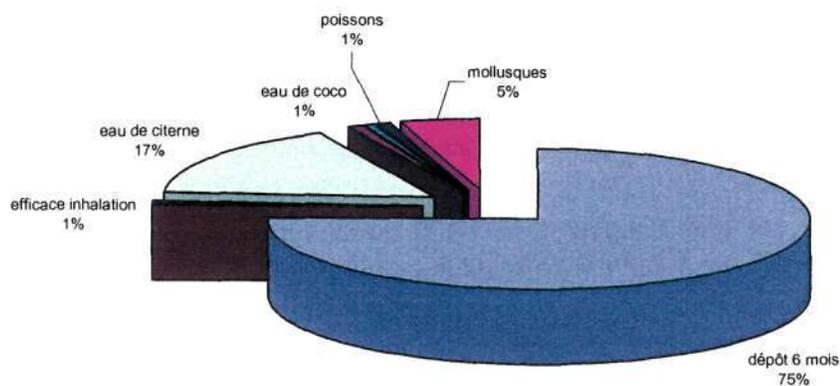


Figure 2 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace – Enfants de 1 à 2 ans consommant l'eau la moins contaminée

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant l'eau la moins contaminée), la dose efficace est de 1,5 mSv.

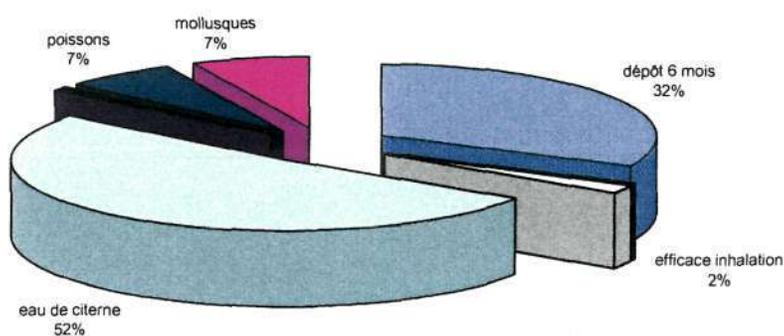


Figure 3 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace – Enfants de 1 à 2 ans consommant l'eau la plus contaminée

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant l'eau la plus contaminée), la dose efficace est de 3,5 mSv.

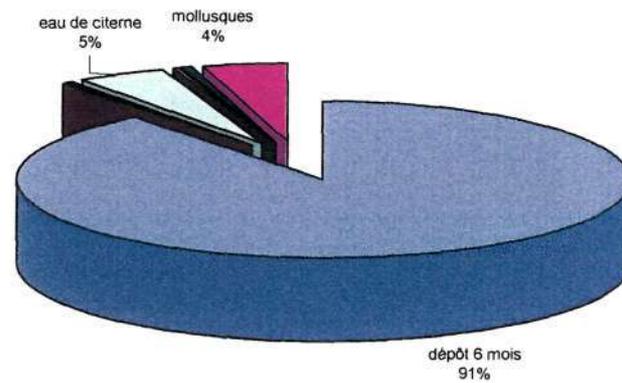


Figure 4 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace – Adultes consommant l'eau la moins contaminée

Dans ce cas (adultes consommant l'eau la moins contaminée), la dose efficace est de 1,3 mSv.

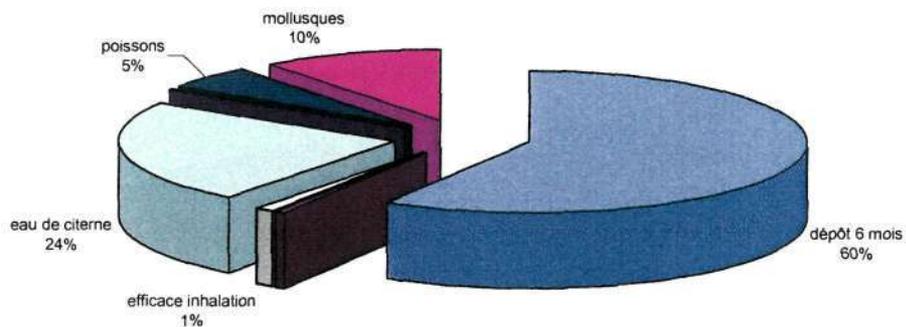


Figure 5 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace – Adultes consommant l'eau la plus contaminée

Dans ce cas (adultes consommant l'eau la plus contaminée), la dose efficace est de 1,9 mSv.

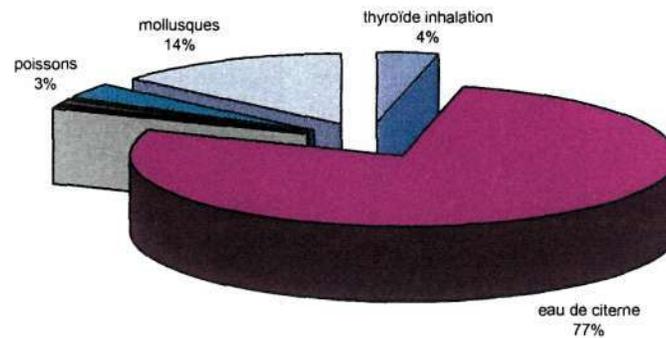


Figure 6 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde – Enfants de 1 à 2 ans consommant l'eau la moins contaminée

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant l'eau la moins contaminée), la dose à la thyroïde est 4 mSv.

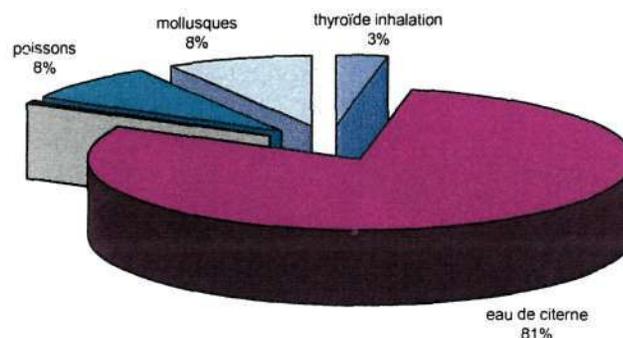


Figure 7 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde – Enfants de 1 à 2 ans consommant l'eau la plus contaminée

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant l'eau la plus contaminée), la dose à la thyroïde est 27 mSv.

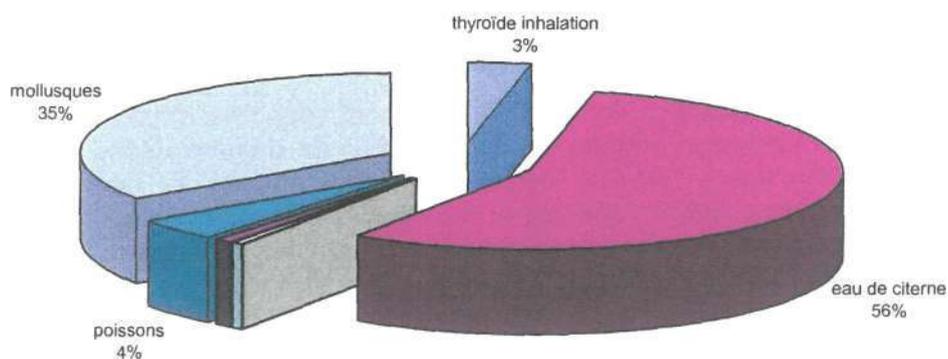


Figure 8 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde – Adultes consommant l'eau la moins contaminée

Dans ce cas (adultes consommant l'eau la moins contaminée), la dose à la thyroïde est 1 mSv.

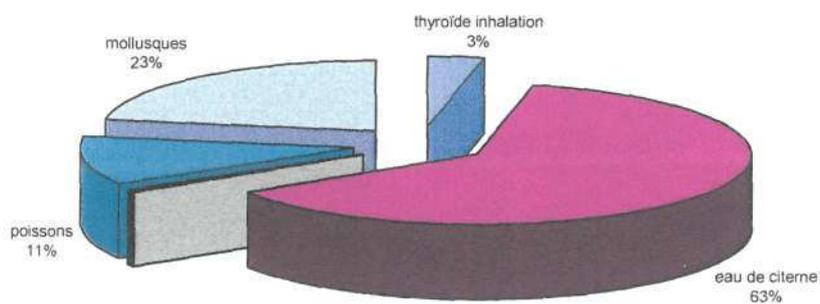


Figure 9 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde – Adultes consommant l'eau la plus contaminée

Dans ce cas (adultes consommant l'eau la plus contaminée), la dose à la thyroïde est 8 mSv.

X - CONCLUSION

Ce document présente les calculs d'impact dosimétrique sur la population de Tureia des retombées de l'essai atmosphérique ENCELADE, réalisé le 12 juin 1971. Toutes les voies d'atteinte sont considérées : l'inhalation (doses efficaces et doses à la thyroïde), l'irradiation externe (doses efficaces par le panache et les dépôts), l'ingestion (doses efficaces et doses à la thyroïde).

A partir de mesures d'activités dans l'environnement (dépôt et produits de la chaîne alimentaire) couplées au calcul de terme source, il a été possible de déduire toutes les grandeurs nécessaires aux évaluations d'impact : l'activité de chaque isotope dans le panache, l'activité de chaque radionucléide dans les produits végétaux et animaux et leur évolution au cours du temps. Les calculs de doses par ingestion ont également pris en compte les différentes quantités consommées en fonction de l'âge de l'individu.

Afin d'obtenir les doses enveloppes reçues par les populations, deux vitesses de dépôt des radionucléides ont été prises en compte. Les évaluations de dose par inhalation et de dose externe par le panache les plus élevées sont obtenues en utilisant une vitesse de dépôt de $0,05 \text{ m.s}^{-1}$.

Les doses efficaces reçues par la population de Tureia varient de 1,3 à 1,9 mSv pour les adultes et de 1,5 à 3,5 mSv pour les enfants âgés de 1 à 2 ans, qui constituent la population la plus exposée. Elles sont inférieures à la valeur guide de 5 mSv à ne pas dépasser pour le public qui était en vigueur en 1971, mais elles sont supérieures à la valeur guide à ne pas dépasser pour le public actuellement en vigueur, qui est de 1 mSv.

Les doses à la thyroïde reçues par la population de Tureia varient de 1 à 8 mSv pour les adultes et de 4 à 27 mSv pour les enfants âgés de 1 à 2 ans ayant bu de l'eau de citerne, qui constituent la population la plus exposée.

Dans tous les cas, la principale contribution à la dose à la thyroïde est la consommation d'eau des citernes de l'atoll.

XI - ANNEXE 1 : DONNEES DE CALCUL

XI.1 - ISOTOPES MAJORITAIRES DANS LE TERME SOURCE

Isotope	Période (s)	% avec GR	% sans GR
¹³⁵ Xe	3.29E+04	9.31	-
⁹³ Y	3.66E+04	6.94	7.97
⁹² Y	1.27E+04	6.75	7.75
⁹⁷ Nb	4.33E+03	6.63	7.61
¹³³ I	7.49E+04	6.36	7.30
⁹¹ Sr	3.47E+04	6.29	7.22
⁹⁷ Zr	6.03E+04	6.15	7.06
¹³⁵ I	2.37E+04	6.06	6.95
^{97m} Nb	5.27E+01	5.85	6.71
^{91m} Y	2.98E+03	4.05	4.65
¹⁴³ Ce	1.19E+05	3.98	4.57
¹⁴¹ La	1.41E+04	3.49	4.00
¹⁴⁵ Pr	2.15E+04	3.44	3.95
⁹⁹ Mo	2.37E+05	2.48	2.84
^{99m} Tc	2.16E+04	1.92	2.20
¹³² I	8.26E+03	1.74	2.00
¹³² Te	2.77E+05	1.70	1.95
²³⁹ Np	2.03E+05	1.41	1.61
⁹² Sr	9.76E+03	1.37	1.57
^{135m} Xe	9.17E+02	1.04	-
⁸⁸ Rb	1.07E+03	1.02	1.17
⁸⁸ Kr	1.02E+04	0.91	-
¹⁰⁵ Ru	1.60E+04	0.91	1.04
¹⁰⁵ Rh	1.27E+05	0.90	1.03
¹²⁸ Sb	3.24E+04	0.70	0.81
¹²⁹ Te	4.18E+03	0.65	0.75
^{85m} Kr	1.61E+04	0.62	-
¹³³ Xe	4.53E+05	0.62	-
¹⁴⁰ Ba	1.10E+06	0.60	0.69
¹²⁹ Sb	1.57E+04	0.57	0.65
¹⁴⁹ Pm	1.91E+05	0.54	0.62
¹³¹ I	6.93E+05	0.47	0.53
^{131m} Te	1.08E+05	0.38	0.43
¹⁵¹ Pm	1.02E+05	0.33	0.38
^{83m} Kr	6.59E+03	0.33	0.00
^{105m} Rh	4.00E+01	0.26	0.30
¹⁴⁷ Nd	9.49E+05	0.25	0.29
¹⁴¹ Ce	2.81E+06	0.22	0.26
¹⁴³ Pr	1.17E+06	0.15	0.17
¹⁴⁰ La	1.45E+05	0.14	0.16
^{109m} Ag	3.96E+01	0.14	0.16
¹⁰⁹ Pd	4.93E+04	0.14	0.16
⁹⁵ Zr	5.53E+06	0.13	0.15
²³⁷ U	5.83E+05	0.13	0.14
¹²⁷ Sb	3.33E+05	0.12	0.14
¹⁴² La	5.47E+03	0.12	0.14

Isotope	Période (s)	% avec GR	% sans GR
⁸⁹ Sr	4.37E+06	0.11	0.13
¹⁰³ Ru	3.39E+06	0.11	0.13
^{103m} Rh	3.37E+03	0.11	0.13
⁸³ Br	8.64E+03	0.11	0.12
¹⁵³ Sm	1.67E+05	0.10	0.11
¹¹² Ag	1.13E+04	0.09	0.11
⁹¹ Y	5.06E+06	0.08	0.10
¹¹² Pd	7.31E+04	0.08	0.10
¹³¹ Te	1.50E+03	0.08	0.09
¹³⁹ Ba	4.98E+03	0.08	0.09
¹²⁷ Te	3.37E+04	0.07	0.08
¹²¹ Sn	9.74E+04	0.06	0.07
²⁴⁰ Np	3.90E+03	0.05	0.05
^{133m} Xe	1.89E+05	0.05	-
¹¹³ Ag	1.93E+04	0.05	0.05
²⁴⁰ U	5.08E+04	0.04	0.05
¹⁴⁹ Nd	6.22E+03	0.04	0.05
^{117m} In	6.97E+03	0.04	0.04
¹¹⁷ In	2.59E+03	0.03	0.04
¹¹⁵ Cd	1.92E+05	0.03	0.04
^{115m} In	1.62E+04	0.03	0.03
¹⁵⁶ Sm	3.38E+04	0.03	0.03
²⁴ Na	5.38E+04	0.03	0.03
¹⁴⁴ Ce	2.46E+07	0.02	0.03
¹⁴⁴ Pr	1.04E+03	0.02	0.03
¹²⁷ Sn	7.56E+03	0.02	0.03
⁷⁷ As	1.40E+05	0.02	0.02
¹¹¹ Ag	6.44E+05	0.02	0.02
⁸⁷ Kr	4.58E+03	0.02	-
¹⁵⁷ Eu	5.46E+04	0.01	0.02
¹¹⁷ Cd	8.96E+03	0.01	0.01
⁷⁷ Ge	4.07E+04	0.01	0.01
^{129m} Te	2.90E+06	0.01	0.01
^{117m} Cd	1.21E+04	0.01	0.01
^{58m} Co	3.20E+04	0.01	0.01
⁷⁸ As	5.44E+03	0.01	0.01
¹²⁵ Sn	8.33E+05	0.01	0.01
¹³⁴ I	3.15E+03	0.01	0.01

Tableau 21 : Isotopes présents dans le nuage et le dépôt (hors gaz rares) à 15 heures

XI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX

XI.2.1 - ACTIVITE DE L'AIR

Activité de l'air (Bq.m ⁻³)	Tureia
13 juin 71 AM	8.14E-02
13 juin 71 PM	6.66E+01
14 juin 71	1.48E+00
15 juin 71	1.85E+00
16 juin 71	7.77E-01
17 juin 71	1.30E+00
18 juin 71	2.96E+00
19 juin 71	7.40E-01
20 juin 71	1.07E+00
21 juin 71	8.14E-01
22 juin 71	9.25E-01
23 juin 71	4.63E-01
24 juin 71	1.37E+00
25 juin 71	1.48E+00
26 juin 71	1.48E+00
27 juin 71	5.92E-01
28 juin 71	1.41E-01
29 juin 71	2.92E-01
30 juin 71	9.99E-02
01 juillet 71	1.37E-01
02 juillet 71	1.37E-01
03 juillet 71	1.11E-01
04 juillet 71	1.63E-01
05 juillet 71	1.48E-01
06 juillet 71	1.48E+00
07 juillet 71	1.04E-01
08 juillet 71	1.04E-01
09 juillet 71	1.04E-01
10 juillet 71	2.96E-01
11 juillet 71	1.26E-01
12 juillet 71	8.14E-02
13 juillet 71	4.07E-02
14 juillet 71	5.55E-02
15 juillet 71	1.11E-01
Act intégrée (Bq.j.m ⁻³)	8.78E+01

Tableau 22 : Activités volumiques dans l'air relevées à Tureia de juin à juillet 1971 (Bq.m⁻³)

XI.2.2 - ACTIVITE DANS LES EAUX DE BOISSON

L'activité globale en produits de fission dans les eaux de boisson est de l'ordre de $7 \cdot 10^4$ Bq.l⁻¹ dans les citernes de Fariki et du Tavana, le 13 juin 1971 (cf. Tableau 23 à Tableau 25).

Date de prélèvement	Date de mesure	activité volumique (en Bq.l ⁻¹) le jour de la mesure
13 juin 71	13 juin 71	74000
13 juin 71	2 juillet. 71	2313
23 juin 71	28 juin 71	1746
26 juin 71	29 juin 71	703
26 juin 71	2 juillet 71	899
8 juillet.71	21 juillet 71	102
12 juillet 71	22 juillet 71	122

Tableau 23 : Activité (mélange de PF) dans l'eau de la citerne de Fariki (Bq.l⁻¹)

Date de prélèvement	Date de mesure	activité volumique (en Bq.l ⁻¹) le jour de la mesure
13 juin 71	13 juin 71	70300
13 juin 71	2 juillet 71	973
23 juin 71	28 juin 71	1413
8 juillet 71	21 juillet 71	165
12 juillet 71	21 juillet 71	155

Tableau 24 : Activité (mélange de PF) dans l'eau de la citerne du Tavana (Bq.l⁻¹)

Date de prélèvement	Date de mesure	activité volumique (en Bq.l ⁻¹) le jour de la mesure
13 juin 71	13 juin 71	10360
13 juin 71	2 juillet. 71	166
23 juin 71	28 juin 71	414
8 juillet 71	21 juillet 71	90
12 juillet 71	21 juillet 71	88

Tableau 25 : Activité (mélange de PF) dans l'eau de la citerne n°2 (devant l'église) (Bq.l⁻¹)

	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁸⁹ Sr	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
13 juin	2,0	1,1	299	74	96,2	519,1	814,0	144,3
23 juin						156,5		
26 juin	1,5			55,5	70,3		40,7	111,0
08 juillet	0,4			14,4	22,2	23,3	125,8	22,2
12 juillet	0,3			44,4	33,3	19,2	114,7	38,9
22 juillet		0,7	64,4					
30 juillet	0,6			3,0	4,4		5,9	2,2
11 août		0,1	9,6	0,4	0,4		1,1	0,4
09 août		0,1	9,3					

Tableau 26 : Activité par isotope dans une eau de citerne (Bq.l⁻¹)

XI.2.3 - ACTIVITE DANS LES ALIMENTS

Le Tableau 27 présente l'évolution de l'activité dans différents produits prélevés à Tureia.

Dans ce tableau, l'activité de l'eau de citerne est plus faible que la valeur maximale indiquée plus haut. Elle n'est pas utilisée dans les calculs.

Produit	date mesure	activité (en Bq.kg ⁻¹ frais)
eau de citerne	13 juin 71	4.59E+04
eau de mer	06 juin 71	12,7
eau de coco	22 juillet 71	
coco 'coprah'	22 juillet 71	
papaye	22 juillet 71	
uru		ND
poissons de lagon	07 juillet 71	54
poissons de récif	07 juillet 71	23
poissons de traine	25 juin 71	43
langouste		ND
bénitier lagon	02 juillet 71	1980
bénitier récif	07 juillet 71	603
turbo	02 juillet 71	1850
poulet chair	22 juillet 71	54
chien chair	22 juillet 71	8,7

Tableau 27 : Activité β - γ globale dans des aliments de Tureia (Bq.kg⁻¹)

L'indication "ND" signifie qu'aucun prélèvement de cet aliment n'a été réalisé sur la période.

	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁸⁹ Sr	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
Coprah							
09 juin	22,2					11,1	
21 juillet	16,3	0,1	6,3	2,2	1,5		2,6
10 août	12,2	0,1		2,2	0,7		0,7
09 sept	5,9			5,2			
Papaye							
10 juin	1,1				1,1		
21 juillet	6,3	0,1	1,5	2,6	1,1	6,3	1,9
03 août	5,2	0,1	3,0	1,1	0,4		0,7
08 sept	7,4			8,1			2,6
Uru							
10 juin	15,5				1,9		
15 juillet	16,3	0,5	74,8	1,5	0,7		1,1
03 août	25,5	0,2	11,8	0,7	0,7		
08 sept	26,3			0,7			

Tableau 28 : Activité des radionucléides dans des végétaux de Tureia (Bq.kg⁻¹)

Tableau 29 : Activité des radionucléides dans de l'eau de coco (Bq.l⁻¹)

	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁹⁵ Zr
09 juin	3,0		
12 juillet	3,7		
10 août	3,7	0,1	0,7
09 sept	1,9		

Mérou	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
02 juillet	0,6	0,1	0,4		3,0	2,2	1,9	2,6	1,5	1,5
14 août	0,4	0,3	0,4		3,0	1,9	0,7			1,1
09 sept	0,2				3,7	1,5				
Mérou (éviscéré)	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
08 juin	1,5		0,7		2,6	3,0	1,9	1,5	6,3	6,7
02 juillet	0,6				2,2	1,9	1,9	5,2	2,6	1,9
Chirurgien (chair)	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
02 juillet	0,9	1,3	1,5	1,5	9,6	12,6	5,2	18,5	10,4	7,0
14 août	0,6	0,4	1,1	4,8	22,2	5,2	1,9			4,8
Chirurgien (éviscéré)	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
08 juin	1,1		0,4	1,5	6,7	3,0	0,7	8,5	3,7	1,1
02 juillet	0,7					22,2	4,1	16,7	16,7	10,4
Surnuliet (chair)	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
09 sept	0,4			0,7	3,0	1,5				
Perroquet (chair)	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
02 juillet	0,7	0,2	0,7	0,4	3,0	8,1	3,3	4,4	10,4	16,7
14 août	0,7	0,2	1,1	0,7	3,3	6,3	1,9			4,4
09 sept				0,4	4,8	12,2				15,2
Perroquet (éviscéré)	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
02 juillet	1,5		0,7		0,7	25,9	5,9	22,2	18,1	12,6

Langouste	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
14 août	0,7	0,1		0,4	4,4	21,8	18,9			9,3
Turbo	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
juin				0,7	2,6	318	37	3,7	5,6	22,2
juillet	0,6			0,7	7,4	1920	74	126		437
août	0,1			1,1	1,9	1180	37	1,5		377
septembre				0,7	2,2	666	33,3	66,6		141
Bœuf	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce
juin		3,3	27,8	3,7	3,7	37,0	696	81,4	167	122
juillet	0,1	1,9	21,1	4,4	1,1	115,0	448	55,5	13,7	51,8
août	0,4	1,5	4,4	5,9	1,1	62,9	88,8	44,4	7,4	17,0
sept		0,7	2,2	4,8	2,2	55,5	66,6	40,7		22,2
Chien	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁸⁹ Sr	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce		
05 juillet	11,5	0,4		10,4	5,9		21,5	1,1		
05 août	15,2	0,2	9,0	10,7	4,1		13,0	6,3		
14 sept	9,3			10,0				2,6		
Poulet	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁸⁹ Sr	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba	¹⁴¹ Ce		
11 juin	11,1									
07 juillet	21,5	0,7		14,4	5,2		22,9	9,6		
07 août	20,0	0,1		3,7	1,9		3,0	2,2		

Tableau 30 : Activité des radionucléides relevée dans des produits animaux de Tureta (Bq.kg⁻¹)

XI.3 - COEFFICIENTS DE DOSE

	période	Cd dépôt (Sv/h)/(Bq/m ²)	Coefficient dose efficace - inhalation (Sv/Bq)					
			bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
C14 aérosols	5.73E3 a	5.80E-17	1.90E-08	1.70E-08	1.10E-08	7.40E-09	6.40E-09	5.80E-09
Br83	2.39 h	2.93E-14	3.50E-10	2.30E-10	1.10E-10	7.70E-11	5.90E-11	4.80E-11
Rb88	0.297 h	2.14E-12	1.90E-10	1.20E-10	5.20E-11	3.20E-11	1.90E-11	1.60E-11
Sr91	9.50 h	3.52E-12	3.10E-09	2.20E-09	1.10E-09	6.90E-10	4.40E-10	3.70E-10
Sr92	2.71 h	4.50E-12	1.90E-09	1.40E-09	6.50E-10	4.10E-10	2.50E-10	2.10E-10
Y91 m	0.828 h	1.88E-12	7.40E-11	5.90E-11	3.10E-11	2.00E-11	1.40E-11	1.10E-11
Y92	3.54 h	9.11E-13	1.90E-09	1.20E-09	5.50E-10	3.50E-10	2.10E-10	1.80E-10
Y93	10.1 h	3.28E-13	4.60E-09	3.00E-09	1.40E-09	8.50E-10	5.00E-10	4.20E-10
Zr97	16.9 h	3.05E-12	7.80E-09	5.30E-09	2.80E-09	1.80E-09	1.10E-09	9.20E-10
Nb97	1.20 h	2.32E-12	3.70E-10	2.50E-10	1.20E-10	7.70E-11	5.20E-11	4.30E-11
Mo99	2.75 j	5.29E-13	6.00E-09	4.40E-09	2.20E-09	1.50E-09	1.10E-09	8.90E-10
Tc99 m	6.02 h	4.36E-13	1.30E-10	9.90E-11	5.10E-11	3.40E-11	2.40E-11	1.90E-11
Ru103	39.3 j	1.67E-12	1.10E-08	8.40E-09	5.00E-09	3.50E-09	3.00E-09	2.40E-09
Ru105	4.44 h	2.77E-12	1.30E-09	9.20E-10	4.50E-10	3.00E-10	2.00E-10	1.70E-10
Rh105	1.47 j	2.74E-13	2.40E-09	1.70E-09	8.00E-10	5.60E-10	4.50E-10	3.50E-10
Rh103 m	0.935 h	4.50E-15	2.00E-11	1.30E-11	6.70E-12	4.30E-12	3.20E-12	2.70E-12
Pd109	13.4 h	4.03E-14	2.70E-09	1.90E-09	9.30E-10	6.30E-10	4.60E-10	3.70E-10
Ag112	3.12 h	2.28E-12	9.80E-10	6.40E-10	2.80E-10	1.70E-10	9.10E-11	7.60E-11
Sb129	0.173 h	6.98E-12	2.00E-09	1.40E-09	6.80E-10	4.40E-10	2.90E-10	2.30E-10
Te129	1.16 h	2.16E-13	3.30E-10	2.20E-10	9.90E-11	6.50E-11	4.40E-11	3.70E-11
Te131	0.417 h	1.48E-12	2.60E-10	1.70E-10	8.10E-11	5.20E-11	3.50E-11	2.80E-11
Te131 m	1.25 j	5.26E-12	7.90E-09	5.80E-09	3.00E-09	1.90E-09	1.20E-09	9.40E-10
Te132	3.26 j	8.78E-12	1.60E-08	1.30E-08	6.40E-09	4.00E-09	2.60E-09	2.00E-09
I131 vapeur	8.04 j	1.35E-12	1.70E-07	1.60E-07	9.40E-08	4.80E-08	3.10E-08	2.00E-08
I132 vapeur	2.30 h	7.96E-12	2.80E-09	2.30E-09	1.30E-09	6.40E-10	4.30E-10	3.10E-10
I133 vapeur	20.8 h	2.15E-12	4.50E-08	4.10E-08	2.10E-08	9.70E-09	6.30E-09	4.00E-09
I134 vapeur	0.876 h	9.11E-12	8.20E-09	6.90E-10	3.90E-10	2.20E-10	1.60E-10	1.50E-10
I135 vapeur	6.61 h	5.29E-12	9.70E-09	8.50E-09	4.50E-09	2.10E-09	1.40E-09	9.20E-10
Cs134	2.06 a	5.47E-12	1.10E-08	7.30E-09	5.20E-09	5.30E-09	6.30E-09	6.60E-09
Cs134m	2.90 h	9.32E-14	1.30E-10	8.60E-11	3.80E-11	2.50E-11	1.60E-11	1.40E-11
Cs135	2.30E6 a	1.20E-16	1.70E-09	9.90E-10	6.20E-10	6.10E-10	6.80E-10	6.90E-10
Cs135m	0.883 h	5.54E-12	9.20E-11	7.80E-11	4.10E-11	2.40E-11	1.50E-11	1.20E-11
Cs136	13.1 j	7.52E-12	7.30E-09	5.20E-09	2.90E-09	2.00E-09	1.40E-09	1.20E-09
Cs137	30.0 a	2.00E-12	8.80E-09	5.40E-09	3.60E-09	3.70E-09	4.40E-09	4.60E-09
Cs138	0.536 h	7.88E-12	2.60E-10	1.80E-10	8.10E-11	5.00E-11	2.90E-11	2.40E-11
Ba139	1.38 h	1.65E-13	5.40E-10	3.50E-10	1.60E-10	1.00E-10	6.60E-11	5.60E-11
Ba140	12.7 j	8.42E-12	2.70E-08	2.00E-08	1.10E-08	7.60E-09	6.20E-09	5.10E-09
La141	3.93 h	1.63E-13	1.40E-09	9.30E-10	4.30E-10	2.80E-10	1.80E-10	1.50E-10
La142	1.54 h	8.86E-12	8.10E-10	5.70E-10	2.70E-10	1.70E-10	1.10E-10	8.90E-11
Ce141	32.5 j	2.66E-13	1.40E-08	1.10E-08	6.30E-09	4.60E-09	4.10E-09	3.20E-09
Ce143	1.38 j	1.00E-12	5.60E-09	3.90E-09	1.90E-09	1.30E-09	9.30E-10	7.50E-10
Pr145	5.98 h	5.62E-14	1.60E-09	1.10E-09	4.90E-10	3.20E-10	2.00E-10	1.70E-10
Nd147	11.0 j	5.00E-13	1.20E-08	8.60E-09	4.90E-09	3.50E-09	3.00E-09	2.40E-09
Nd149	1.73 h	1.36E-12	7.10E-10	4.80E-10	2.30E-10	1.50E-10	1.10E-10	8.90E-11
Pm149	2.21 j	4.07E-14	5.30E-09	3.60E-09	1.80E-09	1.20E-09	9.00E-10	7.30E-10
Pm151	1.18 j	1.13E-12	3.40E-09	2.60E-09	1.30E-09	7.90E-10	5.70E-10	4.60E-10
Sm153	1.95 j	2.24E-13	4.20E-09	2.90E-09	1.50E-09	1.00E-09	7.90E-10	6.30E-10
Sm156	9.40 h	4.21E-13	1.60E-09	1.10E-09	5.80E-10	3.50E-10	2.70E-10	2.20E-10

	période	Cd dépôt (Sv/h)/(Bq/m ²)	Coefficient dose efficace - inhalation (Sv/Bq)					
			bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
U237	6.75 j	4.79E-13	7.80E-09	5.70E-09	3.30E-09	2.40E-09	2.10E-09	1.70E-09
Np237	2.14E6 a	8.05E-13	4.40E-05	4.00E-05	2.80E-05	2.20E-05	2.20E-05	2.30E-05
Np239	2.36 j	5.87E-13	5.90E-09	4.20E-09	2.00E-09	1.40E-09	9.30E-10	9.30E-10
Pu238	87.7 a	3.02E-15	7.80E-05	7.40E-05	5.60E-05	4.40E-05	4.30E-05	4.60E-05
Pu239	2.41E4 a	1.32E-15	8.00E-05	7.70E-05	6.00E-05	4.80E-05	4.70E-05	5.00E-05
Pu240	6.54E3 a	2.89E-15	8.00E-05	7.70E-05	6.00E-05	4.80E-05	4.70E-05	5.00E-05
Pu241	14.4 a	1.87E-17	9.10E-07	9.70E-07	9.20E-07	8.30E-07	8.60E-07	9.00E-07
Pu242	3.76E5 a	2.40E-15	7.60E-05	7.30E-05	5.70E-05	4.50E-05	4.50E-05	4.80E-05
Am241	432 a	9.90E-14	7.30E-05	6.90E-05	5.10E-05	4.00E-05	4.00E-05	4.20E-05

Tableau 31 : Coefficients de dose efficace par inhalation

	Coefficient dose efficace - ingestion (Sv/Bq)					
	bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
C14 aérosols	1.40E-09	1.60E-09	9.90E-10	8.00E-10	5.70E-10	5.80E-10
Br83	5.30E-10	3.00E-10	1.40E-10	8.30E-11	5.50E-11	4.30E-11
Rb88	1.10E-09	6.20E-10	3.00E-10	1.70E-10	1.20E-10	9.00E-11
Sr91	5.20E-09	4.00E-09	2.10E-09	1.20E-09	7.40E-10	6.50E-10
Sr92	3.40E-09	2.70E-09	1.40E-09	8.20E-10	4.80E-10	4.30E-10
Y91 m	9.20E-11	6.00E-11	3.30E-11	2.10E-11	1.40E-11	1.10E-11
Y92	5.90E-09	3.60E-09	1.80E-09	1.00E-09	6.20E-10	4.90E-10
Y93	1.40E-08	8.50E-09	4.30E-09	2.50E-09	1.40E-09	1.20E-09
Zr97	2.20E-08	1.40E-08	7.30E-09	4.40E-09	2.60E-09	2.10E-09
Nb97	7.70E-10	4.50E-10	2.30E-10	1.30E-10	8.70E-11	6.80E-11
Mo99	5.50E-09	3.50E-09	1.80E-09	1.10E-09	7.60E-10	6.00E-10
Tc99 m	2.00E-10	1.30E-10	7.20E-11	4.30E-11	2.80E-11	2.20E-11
Ru103	7.10E-09	4.60E-09	2.40E-09	1.50E-09	9.20E-10	7.30E-10
Ru105	2.70E-09	1.80E-09	9.10E-10	5.50E-10	3.30E-10	2.60E-10
Rh105	4.00E-09	2.70E-09	1.30E-09	8.00E-10	4.60E-10	3.70E-10
Rh103 m	4.70E-11	2.70E-11	1.30E-11	7.40E-12	4.80E-12	3.80E-12
Pd109	6.30E-09	4.10E-09	2.00E-09	1.20E-09	6.80E-10	5.50E-10
Ag112	4.90E-09	3.00E-09	1.50E-09	8.90E-10	5.40E-10	4.30E-10
Sb129	4.30E-09	2.80E-09	1.50E-09	8.80E-10	5.30E-10	4.20E-10
Te129	7.50E-10	4.40E-10	2.10E-10	1.20E-10	8.00E-11	6.30E-11
Te131	9.00E-10	6.60E-10	3.50E-10	1.90E-10	1.20E-10	8.70E-11
Te131 m	2.00E-08	1.40E-08	7.80E-09	4.30E-09	2.70E-09	1.90E-09
Te132	4.80E-08	3.00E-08	1.60E-08	8.30E-09	5.30E-09	3.80E-09
I131 vapeur	1.80E-07	1.80E-07	1.00E-07	5.20E-08	3.40E-08	2.20E-08
I132 vapeur	3.00E-09	2.40E-09	1.30E-09	6.20E-10	4.10E-10	2.90E-10
I133 vapeur	4.90E-08	4.40E-08	2.30E-08	1.00E-08	6.80E-09	4.30E-09
I134 vapeur	1.10E-09	7.50E-10	3.90E-10	2.10E-10	1.40E-10	1.10E-10
I135 vapeur	1.00E-08	8.90E-09	4.70E-09	2.20E-09	1.40E-09	9.30E-10
Cs134	2.60E-08	1.60E-08	1.30E-08	1.40E-08	1.90E-08	1.90E-08
Cs134m	2.10E-10	1.20E-10	5.90E-11	3.50E-11	2.50E-11	2.00E-11
Cs135	4.10E-09	2.30E-09	1.70E-09	1.70E-09	2.00E-09	2.00E-09
Cs135m	1.30E-10	8.60E-11	4.90E-11	3.20E-11	2.30E-11	1.90E-11
Cs136	1.50E-08	9.50E-09	6.10E-09	4.40E-09	3.40E-09	3.00E-09
Cs137	2.10E-08	1.20E-08	9.60E-09	1.00E-08	1.30E-08	1.30E-08
Cs138	1.10E-09	5.90E-10	2.90E-10	1.70E-10	1.20E-10	9.20E-11
Ba139	1.40E-09	8.40E-10	4.10E-10	2.40E-10	1.50E-10	1.20E-10
Ba140	3.20E-08	1.80E-08	9.20E-09	5.80E-09	3.70E-09	2.60E-09
La141	4.30E-09	2.60E-09	1.30E-09	7.60E-10	4.50E-10	3.60E-10

	Coefficient dose efficace - ingestion (Sv/Bq)					
	bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
La142	1.90E-09	1.10E-09	5.80E-10	3.50E-10	2.30E-10	1.80E-10
Ce141	8.10E-09	5.10E-09	2.60E-09	1.50E-09	8.80E-10	7.10E-10
Ce143	1.20E-08	8.00E-09	4.10E-09	2.40E-09	1.40E-09	1.10E-09
Pr145	4.70E-09	2.90E-09	1.40E-09	8.50E-10	4.90E-10	3.90E-10
Nd147	1.20E-08	7.80E-09	3.90E-09	2.30E-09	1.30E-09	1.10E-09
Nd149	1.40E-09	8.70E-10	4.30E-10	2.60E-10	1.60E-10	1.20E-10
Pm149	1.20E-08	7.40E-09	3.70E-09	2.20E-09	1.20E-09	9.90E-10
Pm151	8.00E-09	5.10E-09	2.60E-09	1.60E-09	9.10E-10	7.30E-10
Sm153	8.40E-09	5.40E-09	2.70E-09	1.60E-09	9.20E-10	7.40E-10
Sm156	2.80E-09	1.80E-09	9.00E-10	5.40E-10	3.10E-10	2.50E-10
U237	8.30E-09	5.40E-09	2.80E-09	1.60E-09	9.50E-10	7.60E-10
Np237	2.00E-06	2.10E-07	1.40E-07	1.10E-07	1.10E-07	1.10E-07
Np239	8.90E-09	5.70E-09	2.90E-09	1.70E-09	1.00E-09	8.00E-10
Pu238	4.00E-06	4.00E-07	3.10E-07	2.40E-07	2.20E-07	2.30E-07
Pu239	4.20E-06	4.20E-07	3.30E-07	2.70E-07	2.40E-07	2.50E-07
Pu240	4.20E-06	4.20E-07	3.30E-07	2.70E-07	2.40E-07	2.50E-07
Pu241	5.60E-08	5.70E-09	5.50E-09	5.10E-09	4.80E-09	4.80E-09
Pu242	4.00E-06	4.00E-07	3.20E-07	2.60E-07	2.30E-07	2.40E-07
Am241	3.70E-06	3.70E-07	2.70E-07	2.20E-07	2.00E-07	2.00E-07

Tableau 32 : Coefficients de dose efficace par ingestion

	Période	Cd dépôt (efficace) (Sv/h)/(Bq/m ²)	Coefficient dose inhalation - thyroïde (Sv/Bq)					
			bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Te121 m	154 j	7.56E-13	7.70E-09	5.70E-09	3.10E-09	1.60E-09	1.10E-09	8.70E-10
Te123	1.00E13 a	7.02E-14	1.00E-09	7.80E-10	4.50E-10	2.70E-10	2.20E-10	2.00E-10
Te123 m	120 j	5.15E-13	5.50E-09	3.90E-09	1.90E-09	8.90E-10	5.80E-10	4.10E-10
Te125 m	58.0 j	1.30E-13	4.40E-09	3.00E-09	1.40E-09	6.20E-10	3.90E-10	2.50E-10
Te127	9.35 h	1.86E-14	5.90E-11	3.40E-11	1.50E-11	7.10E-12	4.10E-12	2.80E-12
Te127 m	109 j	5.89E-14	1.40E-08	9.80E-09	4.70E-09	2.00E-09	1.30E-09	8.60E-10
Te129	1.16 h	2.16E-13	4.50E-12	2.80E-12	1.30E-12	7.40E-13	4.40E-13	3.50E-13
Te129 m	33.6 j	2.77E-13	1.90E-08	1.20E-08	5.70E-09	2.50E-09	1.50E-09	1.00E-09
Te131	0.417 h	1.48E-12	6.80E-10	4.60E-10	2.40E-10	1.20E-10	7.30E-11	4.80E-11
Te131 m	1.25 j	5.26E-12	3.70E-08	2.50E-08	1.30E-08	6.60E-09	4.10E-09	2.70E-09
Te132	3.26 j	8.78E-12	8.70E-08	5.30E-08	2.40E-08	1.10E-08	6.60E-09	4.30E-09
Te133	0.207 h	3.22E-12	7.30E-10	4.50E-10	2.10E-10	9.40E-11	5.00E-11	3.60E-11
Te133 m	0.923 h	8.41E-12	3.30E-09	2.00E-09	9.40E-10	4.20E-10	2.50E-10	1.60E-10
Te134	0.696 h	3.12E-12	3.80E-10	2.80E-10	1.30E-10	6.10E-11	3.80E-11	2.60E-11
I121	2.12 h	1.47E-12	3.80E-09	8.40E-09	4.90E-09	2.60E-09	1.80E-09	1.20E-09
I123	13.2 h	5.98E-13	3.90E-08	3.50E-08	1.90E-08	8.60E-09	5.70E-09	3.70E-09
I125	60.1 j	1.54E-13	9.30E-07	1.00E-06	7.50E-07	5.60E-07	4.00E-07	2.70E-07
I128	0.416 h	3.16E-13	1.90E-09	1.70E-09	8.60E-10	3.70E-10	2.40E-10	1.50E-10
I129	1.57E7 a	9.29E-14	3.30E-06	3.90E-06	3.10E-06	3.40E-06	2.50E-06	1.90E-06
I130	12.4 h	7.56E-12	3.60E-07	3.30E-07	1.70E-07	8.00E-08	5.20E-08	3.30E-08
I131	8.04 j	1.35E-12	3.30E-06	3.20E-06	1.90E-06	1.10E-07	6.20E-07	3.90E-07
I132	2.30 h	7.96E-12	4.30E-08	3.80E-08	2.00E-08	8.90E-09	5.80E-09	3.60E-09
I132 m	1.39 h	1.13E-12	3.90E-08	3.50E-08	1.80E-08	8.20E-09	5.30E-09	1.30E-09
I133	20.8 h	2.15E-12	8.90E-07	8.00E-07	4.20E-07	1.90E-07	1.20E-07	7.60E-08
I134	0.876 h	9.11E-12	8.20E-09	7.30E-09	3.80E-09	1.70E-09	1.10E-09	7.00E-10
I135	6.61 h	5.29E-12	1.80E-07	1.60E-07	8.00E-09	3.80E-08	2.40E-08	1.50E-08

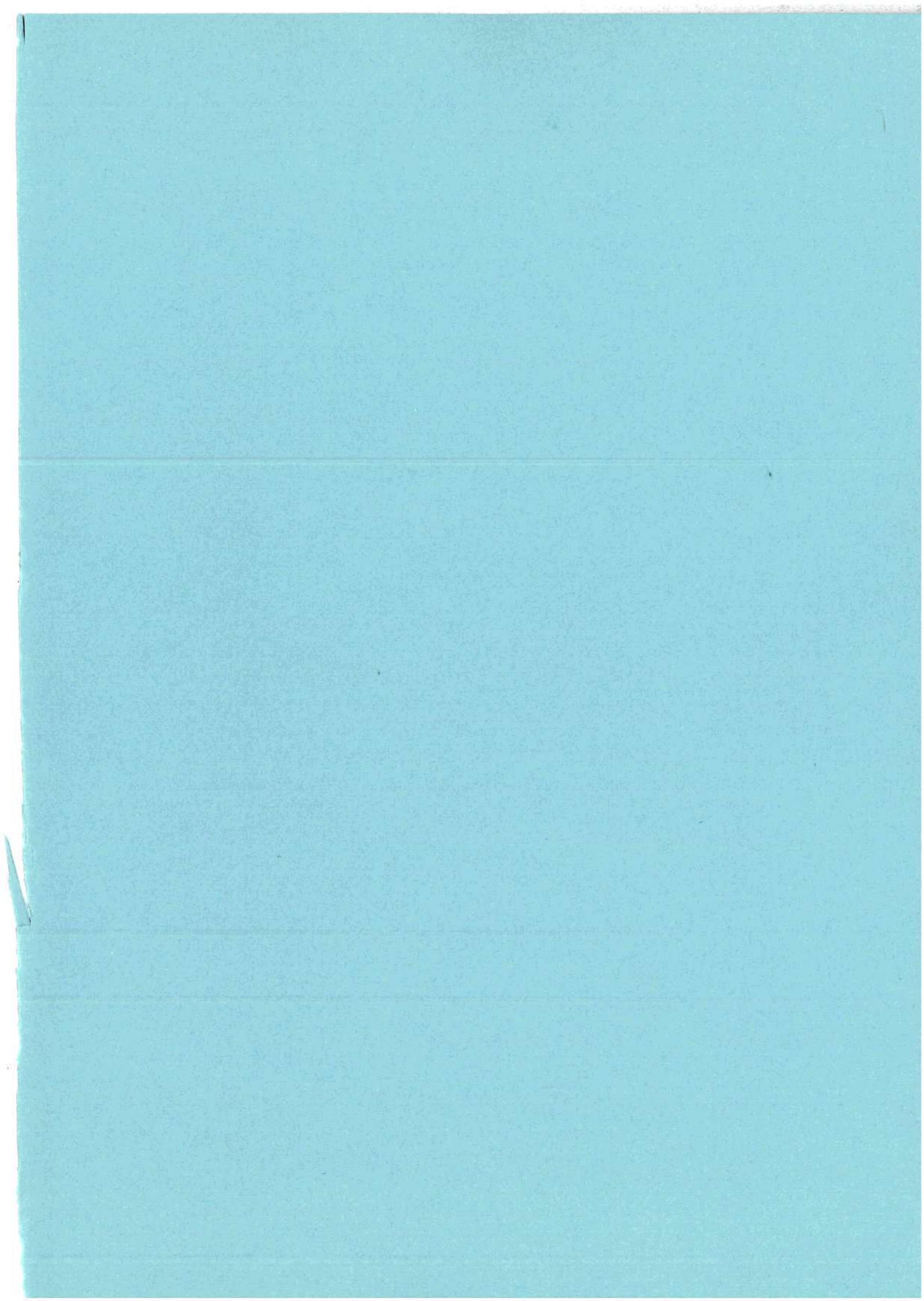
Tableau 33 : Coefficients de dose à la thyroïde par inhalation

	Coefficient dose ingestion - thyroïde (Sv/Bq)					
	bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Te121	3.80E-09	1.70E-09	9.70E-10	5.30E-10	3.80E-10	2.80E-10
Te121 m	3.00E-08	1.30E-08	7.30E-09	3.60E-09	2.50E-09	1.80E-09
Te123	4.00E-09	1.80E-09	1.10E-09	7.10E-10	5.80E-10	4.90E-10
Te123 m	2.70E-08	1.20E-08	6.40E-09	2.90E-09	1.90E-09	1.20E-09
Te125 m	2.50E-08	1.10E-08	5.80E-09	2.60E-09	1.60E-09	1.00E-09
Te127	4.50E-10	1.70E-10	8.90E-11	4.10E-11	2.60E-11	1.70E-11
Te127 m	7.60E-08	3.40E-08	1.80E-08	7.70E-09	4.90E-09	3.10E-09
Te129	2.40E-11	6.30E-12	3.10E-12	1.70E-12	1.00E-12	7.50E-13
Te129 m	1.10E-07	5.10E-08	2.60E-08	1.10E-08	7.40E-09	4.60E-09
Te131	7.60E-09	7.30E-09	4.30E-09	2.10E-09	1.40E-09	8.90E-10
Te131 m	2.60E-07	1.50E-07	8.90E-08	4.50E-08	2.90E-08	1.80E-08
Te132	6.50E-07	3.20E-07	1.70E-07	7.50E-08	1.49E-07	3.10E-08
Te133	9.50E-09	8.50E-09	4.50E-09	2.00E-09	1.30E-09	8.10E-10
Te133 m	3.90E-08	3.40E-08	1.80E-08	8.00E-09	5.10E-09	3.20E-09
Te134	6.30E-09	5.50E-09	2.90E-09	1.30E-09	8.30E-10	5.20E-10
I121	8.80E-09	8.30E-09	4.90E-09	2.60E-09	1.80E-09	1.20E-09
I123	4.10E-08	3.70E-08	2.00E-08	9.20E-09	6.10E-09	3.90E-09
I125	1.00E-06	1.10E-06	8.20E-07	6.20E-07	4.40E-07	3.00E-07
I128	1.10E-09	1.00E-09	5.10E-10	2.20E-10	1.40E-10	8.90E-11
I129	3.70E-06	4.30E-06	3.40E-06	3.80E-06	2.80E-06	2.10E-06
I130	3.90E-07	3.50E-07	1.90E-07	8.50E-08	5.60E-08	3.60E-08
I131	3.70E-06	3.60E-06	2.10E-06	1.00E-06	6.80E-07	4.30E-07
I132	4.00E-08	3.50E-08	1.90E-08	8.30E-09	5.40E-09	3.40E-09
I132 m	3.80E-08	3.40E-08	1.80E-08	8.00E-09	5.20E-09	3.30E-09
I133	9.60E-07	8.60E-07	4.60E-07	2.00E-07	1.30E-07	8.20E-08
I134	6.30E-09	5.60E-09	2.90E-09	1.30E-09	8.50E-10	5.40E-10
I135	1.90E-07	1.70E-07	8.70E-08	3.90E-08	2.50E-08	1.60E-08

Tableau 34 : Coefficients de dose à la thyroïde par ingestion

XII - REFERENCES

- 1 Base de données JEFF - Joint Evaluation Fission and Fusion File – AEN – février 2005
- 2 Arrêté du 01/09/2003 pour le calcul des doses efficaces définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.
- 3 Directive Euratom 96-29 - Nouvelle directive fixant les normes de base n°96/29/Euratom du 13/05/96 – Journal Officiel de la Communauté Européenne L159 du 29 juin 1996.
- 4 CIPR 71: Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4. Inhalation dose coefficients; Volume 25, n° 3-4, 1995 / CIPR 72: Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients.
- 5 ICRP Publication 66: Human respiratory tract model for radiological protection - 1993
- 6 External Exposure to Radionuclides in air, water and soil - Federal Guidance Report N° 12, 1993.
- 7 Décret du 4 avril 2002 relatif à la protection des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants. Journal Officiel du 6 avril 2002.





Dossier d'étude Technique

**Calcul de l'impact dosimétrique des
retombées de l'essai CENTAURE à Tahiti**

<u>IDENTITE DU DOCUMENT</u>		
1 - <u>Nature</u>	2 - <u>Date</u>	3 - <u>Nbre de pages</u>
Dossier d'Etude Technique	02/05/06	58
<p>4 - <u>Résumé</u> : Ce document présente l'impact dosimétrique des retombées sur la population de Tahiti de l'essai atmosphérique CENTAURE, réalisé le 17 juillet 1974. Toutes les voies d'atteinte sont considérées : l'inhalation (doses efficaces et doses à la thyroïde), l'irradiation externe (doses efficaces par le panache et les dépôts), l'ingestion (doses efficaces et doses à la thyroïde).</p> <p>A partir des nombreuses mesures d'activités dans l'environnement (air, dépôts, produits de la chaîne alimentaire) couplées au calcul de terme source effectué par le CEA/DAM, il a été possible d'en déduire toutes les grandeurs nécessaires aux évaluations d'impact : l'activité de chaque isotope dans le panache, l'activité de chaque radionucléide dans les produits végétaux et animaux et leur évolution au cours du temps. Les calculs de doses par ingestion ont également pris en compte les différentes quantités consommées en fonction de l'âge de l'individu.</p> <p>Afin d'obtenir les doses enveloppes reçues par les populations, deux vitesses de dépôt différentes ont été prises en compte pour les radionucléides. Les évaluations de dose par inhalation et de dose externe les plus élevées sont obtenues en utilisant une vitesse de dépôt de $0,01 \text{ m.s}^{-1}$, prenant en compte la pluie pendant le passage du panache.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La classe d'âge la plus exposée est constituée des enfants âgés de 1 à 2 ans, qui ont une alimentation variée, composée des mêmes aliments que les adultes, et qui consomment notamment des végétaux. On a considéré ici que la ration alimentaire des nourrissons de moins de 1 an n'était constituée que de lait et d'eau. - Pour la population adulte de l'île de Tahiti, les doses efficaces reçues s'échelonnent de 0,5 à 3,6 mSv et les doses à la thyroïde de 4 à 16 mSv environ. - Pour la population la plus exposée, les enfants âgés de 1 à 2 ans, les doses efficaces reçues s'échelonnent de 1,2 à 5,2 mSv et les doses à la thyroïde de 14 à 49 mSv. <p>Concernant les doses efficaces :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compte tenu du fait que la plupart des habitants de Tahiti vivait, en 1974, dans les villes de Papeete, Pirae et Mahina, les évaluations effectuées dans cette étude indiquent que les doses efficaces reçues par cette grande majorité de la population étaient très inférieures à 5 mSv, valeur qui était, à l'époque, la valeur guide à ne pas dépasser pour le public, et, au plus, voisines de 1 mSv, qui est la valeur guide actuellement en vigueur pour le public. - Des doses efficaces de l'ordre de 5 mSv n'ont pu être atteintes que pour une fraction très limitée de la population de Tahiti, constituée de quelques enfants vivant sur la commune d'Hitiaa et ayant consommé du lait d'origine locale, ainsi que de quelques enfants ayant éventuellement séjourné sur le plateau de Taravao ou dans la zone au sud de Teahupoo pendant le passage du nuage et qui, bien qu'il ne s'agisse pas de zones habitées, auraient pu y passer une partie de leurs journées. <p>Concernant les doses à la thyroïde :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les évaluations indiquent que les doses internes reçues à la thyroïde pour la plupart des habitants de Tahiti n'étaient pas supérieures à 15 mSv. - Les doses maximales reçues à la thyroïde, de l'ordre de 50 mSv, n'ont également été atteintes que pour une fraction très limitée de la population, constituée de quelques enfants vivant sur la commune d'Hitiaa et ayant consommé du lait d'origine locale, ainsi que de quelques enfants ayant éventuellement séjourné sur le plateau de Taravao ou dans la zone au sud de Teahupoo pendant le passage du nuage et qui, bien qu'il ne s'agisse pas de zones habitées, auraient pu y passer une partie de leurs journées. 		
<p>5 - <u>Descripteurs proposés</u></p> <p>Essai nucléaire atmosphérique, impact radiologique, CENTAURE.</p>		

Calcul de l'impact dosimétrique des retombées de l'essai CENTAURE à Tahiti

Sommaire

I - INTRODUCTION	7
II - CONTEXTE	7
III - METHODOLOGIE DE CALCUL.....	7
III.1 - METHODE DE CALCUL	7
III.1.1 - Doses par inhalation	8
III.1.2 - Doses efficaces par irradiation externe.....	8
III.1.3 - Doses par ingestion	9
III.2 - ORIGINE DES DONNEES.....	10
III.2.1 - Coefficients de dose	10
III.2.2 - Ration alimentaire	11
IV - DONNEES METEOROLOGIQUES.....	13
V - TERME SOURCE.....	14
V.1 - ACTIVITES EMISES	14
V.2 - ISOTOPES PREPONDERANTS LORS DE L'ARRIVEE A TAHITI	14
VI - BILAN DES MESURES ENVIRONNEMENT	15
VI.1 - MESURES "PHYSIQUES"	15
VI.1.1 - Activités dans l'air	15
VI.1.2 - Dépôts.....	16
VI.1.3 - Eaux de boisson	17
VI.1.4 - Commentaires sur les activités relatives des différents isotopes.....	19
VI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX BIOLOGIQUES	20
VI.2.1 - Lait	20
VI.2.2 - Végétaux comestibles.....	22
VI.2.3 - Viandes	22
VI.2.4 - Œufs.....	23
VI.2.5 - Poissons et produits de la pêche.....	23
VII - CALCULS DE DOSES.....	24
VII.1 - DOSES PAR INHALATION	24
VII.1.1 - Dose efficace par inhalation	24
VII.1.2 - Dose à la thyroïde par inhalation	24

VII.2 -	DOSE PAR IRRADIATION EXTERNE	25
VII.2.1 -	<i>Irradiation externe par le panache</i>	25
VII.2.2 -	<i>Irradiation externe par les dépôts</i>	25
VII.3 -	DOSE PAR INGESTION AVEC PRISE EN COMPTE DE RATIONS ALIMENTAIRES	28
VII.3.1 -	<i>Dose due à la consommation d'eau</i>	28
VII.3.2 -	<i>Dose due à la consommation de lait</i>	29
VII.3.3 -	<i>Dose due à la consommation de végétaux</i>	31
VII.3.4 -	<i>Dose due à la consommation de produits animaux</i>	32
VIII -	BILAN DES DOSES ESTIMEES	36
IX -	COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS	38
X -	CONCLUSION	43
XI -	ANNEXE 1 : DONNEES DE CALCUL	44
XI.1 -	ISOTOPES MAJORITAIRES DANS LE TERME SOURCE	44
XI.2 -	MESURES DANS L'ENVIRONNEMENT ET LES ALIMENTS	46
XI.2.1 -	<i>Mesures sur des filtres APA</i>	46
XI.2.2 -	<i>Activité dans les eaux de boisson</i>	47
XI.2.3 -	<i>Activité dans le lait</i>	47
XI.2.4 -	<i>Activité dans les végétaux</i>	48
XI.2.5 -	<i>Activité dans la viande</i>	51
XI.2.6 -	<i>Activité dans des œufs</i>	52
XI.2.7 -	<i>Activité dans les produits du marché de Taravao</i>	53
XI.3 -	COEFFICIENTS DE DOSE	54
XII -	REFERENCES	58

Liste des figures

Figure 1 :	Carte de Tahiti	15
Figure 2 :	Evolution des rapports d'activité en ¹³¹ I calculés et mesurés au cours du temps	19
Figure 3 :	évolution de la dose externe due au dépôt (mSv) en fonction du temps de présence sur le dépôt	26
Figure 4 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un enfant âgé de 1 à 2 ans vivant à Pirae	39
Figure 5 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un enfant âgé de 1 à 2 ans vivant à Hitiaa	39
Figure 6 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un enfant âgé de 1 à 2 ans ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao	39
Figure 7 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un adulte vivant à Pirae	40
Figure 8 :	Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un adulte vivant à Hitiaa	40

Figure 9 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un adulte ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao	40
Figure 10 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un enfant âgé de 1 à 2 ans vivant à Pirae	41
Figure 11 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un enfant âgé de 1 à 2 ans vivant à Hitiaa	41
Figure 12 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un enfant âgé de 1 à 2 ans ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao.....	41
Figure 13 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un adulte vivant à Pirae	42
Figure 14 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un adulte vivant à Hitiaa	42
Figure 15 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un adulte ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao	42

Liste des tableaux

Tableau 1 : Débits respiratoires utilisés pour les différentes classes d'âge ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	10
Tableau 2 : Rations alimentaires considérées dans cette étude ($\text{g} \cdot \text{j}^{-1}$)	12
Tableau 3 : Caractéristiques des dépôts et de la vitesse de dépôt associée	16
Tableau 4 : Evolution de l'activité volumique mesurée dans l'eau de boisson à Hitiaa ($\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$).....	17
Tableau 5 : Evolution dans le temps de l'activité volumique, exprimée en mélange de produits de fission, dans de l'eau de boisson prélevée à Pirae et Teahupoo ($\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$).....	18
Tableau 6 : Evolution dans le temps de l'activité volumique mesurée dans le lait de Hitiaa ($\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$) du 19 juillet au 16 septembre.....	21
Tableau 7 : Evolution dans le temps de l'activité dans le fafa prélevé à Hitiaa ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$) du 19 juillet au 19 septembre.....	22
Tableau 8 : Dose efficace par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)	24
Tableau 9 : Dose à la thyroïde par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv).....	24
Tableau 10 : Dose efficace par irradiation par le panache (mSv).....	25
Tableau 11 : Débit de dose maximal dû au dépôt ($\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$).....	26
Tableau 12 : Evolution de la dose efficace par irradiation due aux dépôts (mSv) en fonction du temps de présence	26
Tableau 13 : Isotopes majoritaires dans la dose efficace par irradiation due aux dépôts en fonction du temps d'exposition	27
Tableau 14 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau de boisson	28
Tableau 15 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'eau de boisson	29
Tableau 16 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de lait - calcul à partir de la mesure en ^{131}I dans le lait.....	29
Tableau 17 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de lait – calcul à partir de la mesure en ^{131}I dans le dépôt	30
Tableau 18 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de végétaux – activités mesurées dans les végétaux	31

Tableau 19 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de végétaux – activités mesurées dans les végétaux.....	31
Tableau 20 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de viande de Papeete	32
Tableau 21 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de viande de Papeete	32
Tableau 22 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'œufs.....	33
Tableau 23 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'œufs	33
Tableau 24 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de poissons	34
Tableau 25 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de poissons	34
Tableau 26 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de mollusques et crustacés.....	35
Tableau 27 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de mollusques et crustacés	35
Tableau 28 : Synthèse des doses efficaces maximales (mSv).....	36
Tableau 29 : Synthèse des doses internes à la thyroïde maximales (mSv)	37
Tableau 30 : Isotopes présents dans le nuage et le dépôt (sauf pour les gaz rares) à 54 heures	45
Tableau 31 : Activités volumiques sur un filtre APA (Bq.m ⁻³) – Mahina – 19/07/74 – volume 240 m ³ .	46
Tableau 32 : Activités volumiques (Bq.m ⁻³) sur un filtre APA – Mahina – 19/07/74 09h00 à 17h00 – volume 610 m ³	47
Tableau 33 : Activités – mélange de PF - dans l'eau de boisson (Bq.l ⁻¹).....	47
Tableau 34 : Activités dans le lait de Taravao (Bq.l ⁻¹) du 19 juillet au 26 août 1974	48
Tableau 35 : Activités dans des végétaux prélevés à Hitiaa (Bq.kg ⁻¹) du 19 juillet au 19 septembre 1974.....	48
Tableau 36 : Activités dans des végétaux prélevés à Teahupoo (Bq.kg ⁻¹) du 19 juillet au 19 septembre 1974.....	49
Tableau 37 : Activités dans des végétaux prélevés à Paea (Bq.kg ⁻¹) du 19 juillet au 22 août 1974.....	49
Tableau 38 : Activités dans des végétaux prélevés à Papeete (Bq.kg ⁻¹) en août et septembre 1974 .	50
Tableau 39 : Activités dans des viandes de Papeete (Bq.kg ⁻¹).....	51
Tableau 40 : Activités dans des œufs de Mahina (Bq.kg ⁻¹)	52
Tableau 41 : Activités dans des œufs de Hitiaa (Bq.kg ⁻¹)	52
Tableau 42 : Activités dans des œufs de Paea (Bq.kg ⁻¹).....	52
Tableau 43 : Activités dans des œufs de Teahupoo (Bq.kg ⁻¹)	52
Tableau 44 : Activités dans des produits du marché de Taravao (Bq.kg ⁻¹).....	53
Tableau 45 : Coefficients de dose efficace par inhalation	55
Tableau 46 : Coefficients de dose efficace par ingestion	56
Tableau 47 : Coefficients de dose à la thyroïde par inhalation.....	56
Tableau 48 : Coefficients de dose à la thyroïde par ingestion	57

I - INTRODUCTION

L'objet de ce document est de réévaluer l'impact dosimétrique sur la population de Tahiti des retombées de l'essai atmosphérique CENTAURE, réalisé le 17 juillet 1974.

Toutes les voies d'atteinte sont considérées : l'inhalation (doses efficaces et doses à la thyroïde), l'irradiation externe (doses efficaces par le panache et les dépôts), l'ingestion (doses efficaces et doses à la thyroïde).

II - CONTEXTE

Prévu initialement le 2 juillet, l'essai CENTAURE a été repoussé après l'essai GEMEAUX (7 juillet 1974), en raison de perturbations météorologiques. Ce tir sous ballon, d'énergie 4 kt, a ainsi été réalisé le 17 juillet 1974, à 17h00 TU, en zone Denise, à Mururoa.

Les coordonnées géographiques du point "zéro" sont 21°47'13" de latitude sud et 138°53'32" de longitude ouest. L'essai a été réalisé à 700 m du PEA (Poste d'Enregistrement Avancé) Denise, à une altitude de 270 m.

III - METHODOLOGIE DE CALCUL

III.1 - METHODE DE CALCUL

Pour évaluer l'impact des retombées de cet essai, on dispose d'un grand nombre de mesures d'activités, notamment en iodes ou en β total, dans l'environnement et sur des échantillons biologiques, prélevés à Tahiti après l'essai. Les mesures en iodes sont notamment utilisées pour évaluer les doses à la thyroïde par ingestion.

Il faut noter que, dans ce document, les calculs d'impact à long terme, prenant en compte la remise en suspension, ne sont pas réalisés.

Lorsque les résultats de mesures sont exprimés en β global, la répartition des radionucléides dans le dépôt ou dans les échantillons prélevés est déduite du calcul du terme source effectué par le CEA/DAM, en prenant en compte la décroissance radioactive ainsi que les filiations de chacun d'entre eux et en supposant que le transport atmosphérique n'a provoqué aucune discrimination physico-chimique entre les radionucléides.

L'activité de chaque radionucléide dans les différents milieux est calculée au cours du temps à l'aide des données de la base JEFF, version 3.1 [1]. Sur les 1300 isotopes initialement présents dans le terme source, environ 1000 sont des isotopes radioactifs. Après 48 heures de décroissance, 70 isotopes contribuent majoritairement à l'activité globale. La liste de ces isotopes majoritaires en termes d'activité dans le dépôt et dans l'air figure dans le Tableau 30 en annexe.

De ce fait, une répartition réaliste des radionucléides dans les différents milieux peut être prise en compte, à partir des calculs de terme source.

Par la suite, pour chaque isotope présent sous forme d'aérosol dans le panache, l'activité volumique intégrée sur le temps de la retombée, exprimée en Bq.s.m^{-3} , est déduite du dépôt au sol, exprimé en Bq.m^{-2} , à partir de la vitesse de dépôt V_d , en m.s^{-1} .

$$\text{Act vol intégrée} = \frac{\text{Dépôt}}{V_d}$$

Pour l'évaluation des activités volumiques des radionucléides sous forme d'aérosols dans l'air, deux hypothèses relatives à la valeur de la vitesse de dépôt ont été retenues : 10^{-2} et $5 \cdot 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$. En effet, compte tenu de la répartition en taille des aérosols formés lors d'un essai nucléaire et du temps d'arrivée du nuage sur Tahiti, les vitesses de dépôt de ceux-ci se situent majoritairement entre ces

valeurs. De plus, comme il a plu lors du passage du nuage sur Tahiti, sur le plateau et au sud-ouest de l'île, la vitesse de dépôt la plus importante, 10^{-2} m.s^{-1} , est considérée à ces endroits.

L'activité des gaz rares, qui sert uniquement au calcul de la dose par irradiation externe par le panache, est déduite des activités en aérosols à l'aide des ratios de leurs activités respectives par rapport à l'activité totale dans le "terme source" à l'instant de calcul considéré.

III.1.1 - DOSES PAR INHALATION

La dose par inhalation due à l'ensemble des isotopes, exprimée en Sv, est égale à la somme des produits de l'activité volumique intégrée sur le temps de passage du panache pour chaque isotope par le débit respiratoire QR_i , exprimé en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, fonction de l'âge de la personne, et du coefficient de dose, soit efficace, soit à la thyroïde, $CD \text{ inhal}_{ij}$, qui s'exprime en Sv.Bq^{-1} inhalé, et est fonction de l'isotope et de sa forme physico-chimique ainsi que de l'âge de la personne :

$$\text{Dose inhal} = \sum_i (\text{Act vol intégrée}_i \times QR_i \times CD \text{ inhal}_{ij})$$

La dose par inhalation, efficace ou à la thyroïde, est calculée en supposant que l'individu exposé se trouve à l'extérieur, sans protection pendant tout le passage du panache.

Les gaz rares ne contribuent pas à la dose par inhalation.

Pour les calculs de doses internes, différentes classes d'âge ont été retenues, du bébé à l'adulte.

Les résultats sont exprimés en termes de dose efficace, due à l'ensemble des isotopes du terme source, ainsi que de dose à la thyroïde, essentiellement due aux iodes et, en moindre part, aux tellures.

III.1.2 - DOSES EFFICACES PAR IRRADIATION EXTERNE

Ces doses sont identiques quel que soit l'âge de l'individu.

III.1.2.1 - Irradiation externe par le panache

La dose efficace due à l'irradiation externe par le panache, exprimée en Sv, est égale à la somme des produits de l'activité volumique intégrée de chaque isotope présent dans le panache, par le coefficient de dose efficace pour la voie "irradiation externe par le panache", $CD \text{ pch}_i$, qui s'exprime en $\text{Sv}/(\text{Bq.s.m}^{-3})$ et est fonction de l'isotope :

$$\text{Dose externe panache} = \sum_i (\text{Act vol intégrée}_i \times CD \text{ pch}_i)$$

La dose par irradiation par le panache est calculée pour un individu exposé sans protection pendant le passage du panache.

L'activité volumique intégrée sur le temps de passage du panache des aérosols est identique à celle utilisée pour le calcul de la dose par inhalation. Comme indiqué plus haut, les rapports entre les activités des gaz rares et celles des autres isotopes du terme source sont identiques à ceux calculés à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

III.1.2.2 - Irradiation externe par les dépôts

Connaissant les activités déposées pour les différents isotopes, on peut en déduire, dans un premier temps, le débit de dose dû au dépôt. Celui-ci, exprimé en Sv.h^{-1} , est égal à la somme des produits du dépôt par isotope par le coefficient de dose efficace, pour la voie "irradiation externe par le dépôt", $\text{CD}_{\text{dépôt}_i}$, qui s'exprime en $(\text{Sv.h}^{-1})/(\text{Bq.m}^{-2})$, et est fonction de l'isotope :

$$\text{Débit de dose externe dépôt} = \sum_i (\text{Dépôt}_i \times \text{CD}_{\text{dépôt}_i})$$

Puis, par intégration pour différentes durées d'exposition, on évalue la dose due au dépôt, en prenant en compte la décroissance radioactive de l'isotope, caractérisé par sa constante radioactive λ_{rad_i} . Cette dose évolue au cours du temps, selon la durée de présence T de l'individu considéré sur le dépôt. Cette dose perdure au-delà du passage du panache.

$$\text{Dose externe dépôt} = \sum_i \left(\frac{\text{Débit de dose dépôt}_i [1 - \exp(-\lambda_{\text{rad}_i} T)]}{\lambda_{\text{rad}_i}} \right)$$

Dans le calcul de la dose intégrée due au dépôt, on utilise un coefficient d'atténuation, prenant en compte le fait que les individus concernés passent une partie du temps à l'intérieur des habitations et se déplacent.

III.1.3 - DOSES PAR INGESTION

Cette dose est due à la consommation d'aliments produits localement, contaminés par les retombées radioactives. Cette dose est fonction de l'âge de l'individu ; elle dépend donc de sa consommation.

Comme pour les doses par inhalation, les résultats sont exprimés en termes de dose efficace, due à l'ensemble des isotopes du terme source, ainsi que de dose à la thyroïde, essentiellement due aux iodes et, en moindre part, aux tellures.

Les calculs de dose par ingestion se font à partir d'activités effectivement mesurées dans les aliments d'origine locale. La répartition des activités des isotopes dans les différents aliments à la date considérée est supposée identique à la répartition des activités dans le dépôt, calculée à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

Lorsqu'on connaît l'activité par isotope dans l'aliment considéré, exprimée en Bq.kg^{-1} , la dose par ingestion se calcule par la somme, sur les différents isotopes, des produits de l'activité en Bq.kg^{-1} , par la consommation, en kg et le coefficient de dose par ingestion, $\text{CD}_{\text{ing}_{i,j}}$, soit efficace, soit à la thyroïde, qui s'exprime en Sv par Bq ingéré :

$$\text{Dose ingestion} = \sum_i (\text{Act}_{\text{aliment}_i} \times \text{conso}_i \times \text{CD}_{\text{ingestion}_{i,j}})$$

Plusieurs mesures de contamination d'aliments produits localement sont disponibles pour les calculs de dose par ingestion (cf. paragraphe VI.2 - , page 20).

III.2 - ORIGINE DES DONNEES

III.2.1 - COEFFICIENTS DE DOSE

III.2.1.1 - Doses internes

Pour le calcul des doses efficaces internes, par inhalation et par ingestion, les coefficients de dose proviennent de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 [2]. Ils sont rappelés dans le Tableau 45 et le Tableau 46, pages 55 et 56.

Dans le cas des doses par inhalation, la forme physico-chimique associée aux différents isotopes est celle recommandée, soit par ce même arrêté, soit par la Directive Européenne [3], soit par la CIPR 71-72 [4]. En ce qui concerne les doses à la thyroïde, les coefficients de dose proviennent de la CIPR 71-72. Pour la voie inhalation, les coefficients de dose correspondent à une granulométrie des aérosols de 1 μm , valeur habituellement utilisée pour les calculs de dose au public.

Les coefficients de dose à la thyroïde figurent dans le Tableau 47 et le Tableau 48, page 56.

L'iode est supposé émis sous forme vapeur.

Les débits respiratoires sont ceux indiqués dans la CIPR-66 [5].

Classe d'âge	Bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Débit respiratoire ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$3,31 \cdot 10^{-5}$	$5,97 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^{-4}$

Tableau 1 : Débits respiratoires utilisés pour les différentes classes d'âge ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

III.2.1.2 - Doses efficaces externes

Pour la voie irradiation externe par le panache et les dépôts, les coefficients de dose proviennent du rapport Federal Guidance n°12 [6]. Les coefficients de dose due au dépôt sont rappelés dans le Tableau 45, page 55.

Dans les calculs de dose due aux dépôts présentés dans cette étude, on suppose que les personnes passent 2/3 de leur temps à l'extérieur sur les dépôts. Cette hypothèse est conservative, notamment sur des longues périodes.

III.2.2 - RATION ALIMENTAIRE

Les populations de Tahiti se répartissent principalement en deux zones : une zone urbaine correspondant notamment à Papeete-Pirae et Mahina et des zones rurales comme Hitiaa, Taravao et Teahupoo.

La ration alimentaire référencée "Papeete" dans le tableau ci-dessus sera utilisée pour les calculs de dose dans les villes, c'est-à-dire à Mahina et Pirae.

La seconde ration alimentaire référencée "zone rurale" a été reconstruite à partir d'une ration alimentaire relative à des habitants de Tureia, en y intégrant les consommations de lait et de légumes feuilles de Papeete. Elle sera utilisée pour les calculs de dose à Hitiaa, au sud de Teahupoo et sur le plateau de Taravao. On a également ajouté des consommations d'œufs, qui ne figuraient pas dans le document d'origine.

Dans les documents de base, la ration alimentaire n'est disponible que pour des adultes. Pour les autres classes d'âge, pour la plupart des aliments, on évalue une consommation fonction de l'âge, qui sera indiquée dans les différents tableaux présentant les résultats des doses.

Pour le lait, on considère que le nourrisson consomme 0,7 litre par jour, que l'enfant âgé de 1 à 2 ans consomme 0,5 litre par jour et que les autres classes d'âge consomment 0,3 litre par jour.

Catégorie	Aliment	Zone urbaine (Papeete)		Zone "rurale" - reconstruit	
		Quantité		Quantité	
		par aliment	par catégorie	par aliment	par catégorie
boisson	eau	2700		1000	
	eau de citerne				
	eau de coco	5		2000	
	lait	300			300
poissons	thon	13	373		470
	bonite	106			
	ature	18			
	inaa	5			
	poissons haute mer			30	
	poissons lagon	231		440	
viandes	poulet	1	78	10	30
	porc	49		10	
	bœuf	28			
	chien			10	
Œufs		30	30	30	30
mollusques	turbo	15	30	60	190
	bénitier	15		100	
	poulpe			30	
	autres mollusques				

Catégorie	Aliment	Zone urbaine (Papeete)		Zone "rurale" - reconstruit	
		Quantité		Quantité	
		par aliment	par catégorie	par aliment	par catégorie
crustacés	chevrettes	1	2		
	langouste	1		20	20
coprah		6	6	220	220
fruits plantes arborescentes	banane	40	194	50	170
	papaye	12		60	
	citron	19			
	mangue	32			
	avocat	6			
	pamplemousse	5			
	uru	28		60	
	autres fruits	52			
fruits plantes herbacées	ananas	28	240		
	tomates	28			
	concombre	17			
	aubergine	3			
	autres fruits	164			
légumes feuilles	salade	20	63		63
	chou	18			
	poireau	3			
	fafa	2			
	autres légumes	20			
racines et tubercules	taro	48	115		
	patate douce	26			
	tarua	13			
	navet	12			
	carotte	10			
	manioc				
	autres	6			
	total local		1101		1100

Tableau 2 : Rations alimentaires considérées dans cette étude (g.j⁻¹)

IV - DONNEES METEOROLOGIQUES

L'essai CENTAURE a été effectué sur la face nord d'une cellule anticyclonique en voie d'affaiblissement centrée sur l'atoll Morane, avec des vents de basse couche venant du sud-est, de vitesse de l'ordre de $5,1 \text{ m.s}^{-1}$, tendant à faiblir dans la journée.

A H+10 minutes, la tête du nuage, de couleur ocre, s'est détachée du pied. Le sommet du pied a bourgeonné, en formant une petite tête blanche cerclée d'un anneau ocre. La tête du nuage a culminé à 5 200 mètres, c'est-à-dire à une altitude plus basse que les hypothèses retenues pour réaliser les estimations avant l'essai.

Des retombées ont atteint les îles du Vent (dont Tahiti) et les îles sous le Vent, les 19 et 20 juillet. Le nuage principal a généré plusieurs nuages secondaires, qui ont suivi des trajectoires distinctes, globalement dirigées vers l'ouest.

Des précipitations de forte intensité, conjuguées aux effets de relief qui bloquent les nuages, se sont produites lors du passage du nuage au-dessus de Tahiti. A Tahiti, il a plu de H+42h30 à H+44h00, c'est-à-dire au début du passage du panache, qui est arrivé à H+42h30. La quantité d'eau de pluie recueillie a été $1,4 \text{ l.m}^{-2}$ (1,4 mm).

V - TERME SOURCE

Le CEA/DAM a évalué le nombre de noyaux d'environ 1300 isotopes, stables et radioactifs, émis dans le panache à l'instant initial.

V.1 - ACTIVITES EMISES

A l'instant initial, l'activité totale est due à des isotopes tels que ^{97}Sr , ^{98}Y , ^{103}Nb ..., isotopes de périodes très courtes (inférieures à quelques secondes) et qui ne sont pas, pour la plupart, dans les bases de données de coefficients de dose.

V.2 - ISOTOPES PREPONDERANTS LORS DE L'ARRIVEE A TAHITI

Le terme source a été exploité à l'aide de la version 3.1 de la base de données JEFF [1], afin de connaître l'évolution de la répartition en isotopes à différents instants, notamment à 2 jours, temps d'arrivée à Tahiti.

A cet instant, les isotopes majoritaires en termes d'activité sont ^{239}Np , ^{105}Rh et ^{133}I , qui correspondent respectivement à 12,2%, 7,6% et 7% de l'activité globale (cf. Tableau 30, page 44, en annexe).

Les isotopes ^{133}I , ^{132}I et ^{131}I contribuent respectivement chacun à 7%, 5,2% et 2% de l'activité totale. L'activité de l'ensemble des isotopes de l'iode correspond à près de 17% de l'activité à 54 heures.

VI - BILAN DES MESURES ENVIRONNEMENT

Afin de faciliter le repérage des lieux indiqués, une carte de Tahiti est présentée sur la Figure 1 :



Figure 1 : Carte de Tahiti

VI.1 - MESURES "PHYSIQUES"

Le panache a pu être détecté de H+42h30 à H+55 h ; le maximum de retombées a été observé à H+54h30.

VI.1.1 - ACTIVITES DANS L'AIR

N.B. : *On dispose de nombreuses activités dans l'air mais elles ne sont reportées ici qu'à titre indicatif. En effet, elles sont peu utilisables pour les calculs d'impact par inhalation ou pour l'irradiation externe par le panache car on ne dispose pas de l'activité intégrée sur toute la période.*

A Tahiti, l'activité maximale observée a été de 1100 Bq.m^{-3} ($3 \cdot 10^{-8} \text{ Ci.m}^{-3}$).

L'activité maximale à Papeete était de 520 Bq.m^{-3} ($14\,000 \text{ pCi.m}^{-3}$) en juillet 1974, sans précision sur la date exacte correspondant à cette valeur. Toutefois, comme la moyenne décadaire à Papeete n'était que de 52 Bq.m^{-3} (1400 pCi.m^{-3}) du 11 au 20 juillet 1974, cette activité maximale n'a pu être observée que sur de courtes périodes. L'activité intégrée sur le temps a été de 530 Bq.j.m^{-3} en juillet 1974.

A Tahiti, le 19 juillet, la concentration atmosphérique était de 44 mBq.m^{-3} ($1,2 \cdot 10^{-12} \text{ Ci.m}^{-3}$) en émetteurs α (composés à 70% de ^{239}Pu) et de 740 Bq.m^{-3} ($2 \cdot 10^{-8} \text{ Ci.m}^{-3}$) en émetteurs $\beta\text{-}\gamma$. 1% de cette activité était due aux isotopes de l'iode. La concentration en $^{89-90}\text{Sr}$ était de l'ordre de 1 Bq.m^{-3} .

A Mahina, l'activité maximale en émetteurs $\beta\text{-}\gamma$ était de 307 Bq.m^{-3} le 19 juillet et de 321 Bq.m^{-3} le 20 juillet. Au PCR de Mahina, l'activité maximale relevée était de l'ordre de 520 Bq.m^{-3} ($14\,000 \text{ pCi.m}^{-3}$).

Des résultats de spectrométries γ réalisées sur des filtres APA positionnés à Mahina le 19 juillet sont disponibles (cf. Tableau 31 et Tableau 32, page 46). Les activités moyennes sur les filtres sont respectivement de 629 et 1180 Bq.m^{-3} , pour des volumes d'air de 240 et 610 m^3 .

VI.1.2 - DEPOTS

Des mesures sur des capteurs inertes le 19 juillet montrent une grande hétérogénéité du dépôt sur l'ensemble de l'île, pouvant être attribuée à la pluie et au relief.

Le document [7] présente les dépôts relevés sur les zones côtières, exprimés par rapport à la valeur mesurée au PCR de Mahina. Ils confirment la grande hétérogénéité des dépôts mesurés.

Compte tenu de cette hétérogénéité, différents calculs ont été réalisés pour tenir compte de toutes les situations possibles à Tahiti.

A Mahina, l'activité surfacique était au plus de $2,5 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$ ($6,8 \cdot 10^7 \text{ pCi.m}^{-2}$) [7]. Cette valeur sera utilisée par la suite pour les calculs d'impact en prenant en compte une situation avec pluie.

A Hitiaa, le dépôt était environ 3 fois plus élevé que celui mesuré à Mahina. Cette valeur, évaluée à $7,5 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$, associée à une vitesse de dépôt de 10^{-2} m.s^{-1} , sera également prise en compte pour des évaluations d'impact correspondant aux maximums de doses reçues sur l'ensemble de Tahiti. Bien que les dépôts au sol soient supérieurs dans la zone de Teahupoo, la dose reçue par ingestion est inférieure à celle d'Hitiaa, compte tenu des rations alimentaires considérées. Comme les calculs le montreront, c'est dans la zone d'Hitiaa que les populations ont été les plus exposées.

Pour le dépôt par temps sec, on utilisera une valeur environ 8 à 10 fois plus faible que la valeur de Mahina, telle que celle mesurée à Pirae, c'est-à-dire $3,3 \cdot 10^5 \text{ Bq.m}^{-2}$. Ce dépôt sera associé à une vitesse de dépôt de $5 \cdot 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$. La zone de Pirae-Papeete correspond aux minimums de doses reçues par les populations.

Enfin, un quatrième scénario sera examiné. Il correspond à certaines zones situées **au sud de Teahupoo et au plateau de Taravao**. Dans ces zones, les dépôts au sol ont atteint les maximums mesurés sur l'île de Tahiti, soit une activité surfacique 11 fois supérieure à celle mesurée à Mahina, c'est-à-dire $2,75 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$. Ces zones les plus touchées par les retombées ne sont cependant pas des zones habitées et les paramètres utilisés dans les calculs seront donc différents de ceux utilisés pour les zones habitées. On supposera que l'adulte et l'enfant âgé de 1 à 2 ans étaient présents en ces lieux lors du passage du nuage et, qu'ensuite, le taux de présence journalier moyen était de 4 heures pendant les 6 mois qui ont suivi les retombées.

Le Tableau 3 présente les caractéristiques utilisées dans les calculs.

Emplacement	Dépôt (Bq.m^{-2})	Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	Temps	Type de vie
Mahina	$2,5 \cdot 10^6$	10^{-2}	Pluvieux	Urbain
Pirae	$3,3 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{-3}$	Sec	Urbain
Hitiaa	$7,5 \cdot 10^6$	10^{-2}	Pluvieux	Rural
Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	$2,75 \cdot 10^7$	10^{-2}	Pluvieux	Rural

Tableau 3 : Caractéristiques des dépôts et de la vitesse de dépôt associée

VI.1.3 - EAUX DE BOISSON

A Hitiaa (Tableau 4), l'activité volumique maximale de l'eau de boisson en mélange de produits de fission (PF) est de l'ordre de 7000 Bq.l⁻¹ le 19 juillet.

A cet endroit, l'activité volumique maximale est de l'ordre de 90 Bq.l⁻¹ en ¹³¹I, de 600 Bq.l⁻¹ en ¹³²I et de 230 Bq.l⁻¹ en ¹³³I.

	mélange de PF	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I	¹⁴⁰ La - Ba	¹⁰³ Ru	⁹⁵ Zr
19 juillet 74	7061	88	600	230	44	34	7
20 juillet 74	2717	48	47	26	17		
21 juillet 74	602	12	27	19	4		
22 juillet 74	403						
23 juillet 74	281	5	21	7	1		
24 juillet 74	1320	35	109	45	139		
25 juillet 74	512	6	15	6			
26 juillet 74	140	4	3	4			
27 juillet 74	48	4		5			
28 juillet 74	150						
29 juillet 74	30	1					
30 juillet 74	100	1					
31 juillet 74	8						
1 août 74	44						
Act intégrée (Bq.l ⁻¹)	13416	204	822	342	205	34	7

Tableau 4 : Evolution de l'activité volumique mesurée dans l'eau de boisson à Hitiaa (Bq.l⁻¹)

On dispose également de la contamination d'eaux de boisson, recueillies à Taravao, Mahina, Tautira, Teahupoo, Paea, Mataiea et Pirae, du 19 juillet au 01 août 1974, exprimée en mélange β global (cf. Tableau 33, page 47).

Les évolutions de l'activité dans l'eau de Pirae et de Teahupoo sont rappelées dans le Tableau 5 ci-dessous car elles sont utilisées dans les calculs de doses par ingestion.

Date	Pirae	Teahupoo
19 juillet 74	733	941
20 juillet 74	463	144
21 juillet 74	302	261
22 juillet 74	142	275
23 juillet 74	104	140
24 juillet 74	221	47
25 juillet 74	223	51
26 juillet 74	221	88
27 juillet 74	60	93
28 juillet 74	47	48
29 juillet 74	34	4
30 juillet 74	23	11
31 juillet 74	24	47
1 août 74	40	8
Act intégrée (Bq.l.j ⁻¹)	2637	2158

Tableau 5 : Evolution dans le temps de l'activité volumique, exprimée en mélange de produits de fission, dans de l'eau de boisson prélevée à Pirae et Teahupoo (Bq.l⁻¹)

L'activité intégrée du 19 juillet au 1^{er} août est 5 fois plus élevée à Hitiaa ($1,3 \cdot 10^4$ Bq.l.j⁻¹) qu'à Pirae ($2,6 \cdot 10^3$ Bq.l.j⁻¹) ou Teahupoo ($2,1 \cdot 10^3$ Bq.l.j⁻¹).

Lors des mesures, en 1974, il était supposé que, quel que soit le lieu de prélèvement, la répartition de l'activité entre les différents isotopes était identique à celle de Hitiaa.

VI.1.4 - COMMENTAIRES SUR LES ACTIVITES RELATIVES DES DIFFERENTS ISOTOPES

Afin de vérifier la cohérence du terme source calculé par le CEA/DAM avec les mesures dans l'environnement, l'évolution au cours du temps du rapport de l'activité en ^{131}I sur l'activité totale évaluée à partir de mesures dans l'herbe et à l'aide des formules théoriques, prenant en compte la décroissance et les filiations, a été tracée sur la Figure 2.

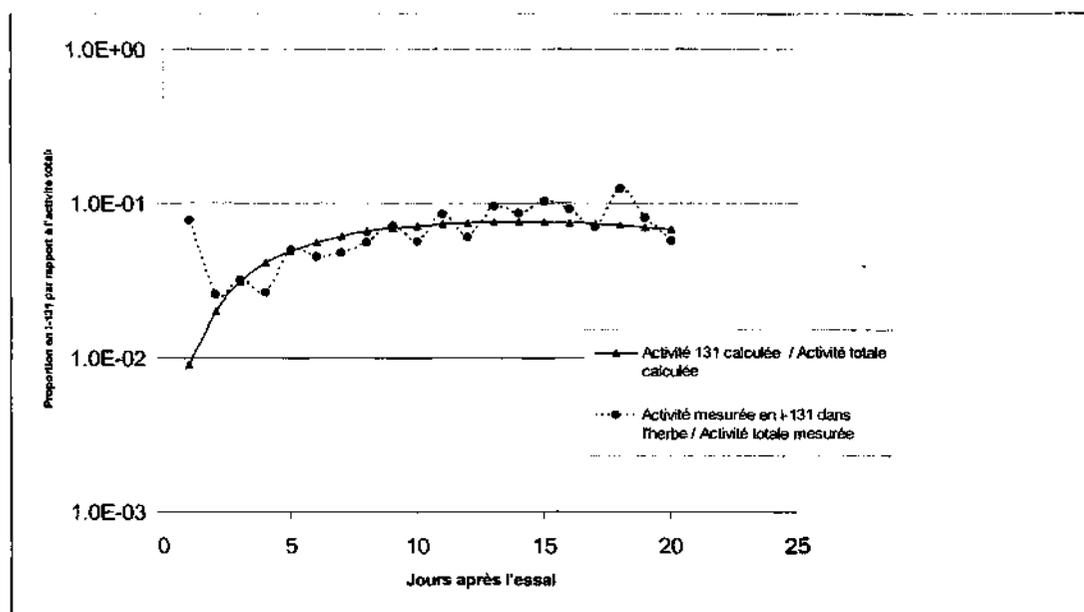


Figure 2 : Evolution des rapports d'activité en ^{131}I calculés et mesurés au cours du temps

1 à 2 jours après l'essai, les rapports d'activité en ^{131}I sur l'activité totale mesurés et calculés sont quasiment identiques.

Ceci indique que la répartition des radionucléides calculée en fonction du temps à partir du terme source fourni par le CEA/DAM est cohérente avec la répartition des radionucléides déduite des mesures de l'époque.

C'est pourquoi, lorsque la mesure β - γ globale n'est pas disponible dans les produits végétaux et animaux, elle sera calculée à partir de l'activité mesurée d'un radionucléide (exemple ^{131}I pour le lait et le foin, ^{95}Zr pour la viande et le poisson) et de la contribution de ce radionucléide à l'activité totale estimée par l'évolution temporelle du terme source.

Inversement, on utilisera également la répartition isotopique issue de l'évolution temporelle du terme source pour déduire les activités des radionucléides à partir des mesures d'activité β - γ globale.

VI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX BIOLOGIQUES

VI.2.1 - LAIT

Les calculs de doses seront effectués en utilisant les mesures disponibles dans le lait.

La production laitière de Tahiti représente environ 1/5 de la consommation de produits lactés du territoire. Les élevages étaient essentiellement présents en deux points :

- le plateau de Taravao où la production de lait a été de 0,8 million de litres en 1973,
- la région de Mataiea et du golfe d'Atimaono (située au sud de la grande presqu'île), où la production de lait a été de l'ordre de 0,3 million de litres en 1973.

La distribution de ce lait était assurée par deux laiteries, qui commercialisaient du lait pasteurisé complet, du fromage blanc, des glaces et, éventuellement, des yaourts. Le lait produit dans ces régions n'était donc pas consommé directement après sa production.

En plus de ces deux zones principales, quelques élevages (92 vaches au total) étaient présents dans le district d'Hitiaa et à proximité. Ce lait servait à de la consommation locale. En effet, il existait plusieurs élevages familiaux, dont celui de M. Vien, situé au PK 35,800, qui comptait 3 vaches laitières. Le lait produit par ces élevages servait à la consommation locale de la famille (adultes et enfants) et des voisins. Les mesures de lait de vache relatives à la région de Hitiaa (cf. Tableau 6) proviennent d'une vache de cet élevage.

Les mesures dans du lait prélevé à Hitiaa indiquent une activité maximale de l'ordre de 1150 Bq.l⁻¹ en ¹³¹I et de 2700 Bq.l⁻¹ en ¹³²I le 20 juillet (cf. Tableau 6). L'activité en ¹³¹I intégrée sur l'ensemble de la période est de l'ordre de 1,2. 10⁴ Bq.j.l⁻¹.

Ces mesures servent à l'évaluation de doses efficaces et à la thyroïde par ingestion. Pour l'évaluation de l'activité relative à chaque isotope, on multipliera l'activité mesurée en ¹³¹I par le rapport des activités déduites de l'évolution temporelle du terme source à la date de la mesure.

Date	Activité dans le lait d'Hitiaa (Bq.l ⁻¹)					
	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I	¹³⁶ Cs	¹³⁷ Cs	¹⁴⁰ La
19-juil.-74	7.4	21.83	54.76			
20-juil.-74	1149.22	2684.72	224.59		2.59	
21-juil.-74	1064.49	123.58	462.13	3.7	10.73	3.33
22-juil.-74	973.1	500.61	385.17	4.07	12.21	4.07
23-juil.-74	926.48	409.22	166.5	4.07	11.1	5.55
24-juil.-74	1124.06	435.86	78.07	4.44	13.32	4.44
25-juil.-74	566.84	662.3	17.02	3.7	9.25	5.55
26-juil.-74	680.43	203.13		4.07	10.73	5.55
27-juil.-74	424.02	166.13		3.33	14.43	5.55
28-juil.-74	348.91	103.23		3.7	10.73	5.18
29-juil.-74	394.05	167.61		3.33	9.99	5.55
30-juil.-74	373.33	109.89		4.07	11.47	6.29
31-juil.-74	323.01	55.5		3.7	11.84	4.81
1-août-74	379.25	14.8		3.7	9.62	4.81
2-août-74	241.61	143.93		2.59	8.51	4.07
3-août-74	411.44	178.34		2.22	8.14	4.07
4-août-74	189.81	18.87		2.59	8.51	4.07
5-août-74	146.15	18.5		2.59	8.88	4.44
6-août-74	179.08	48.1		2.59	10.36	4.81
7-août-74	156.14	41.07		2.96	8.14	4.44

Date	Activité dans le lait d'Hitiaa (Bq.l ⁻¹)					
	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I	¹³⁶ Cs	¹³⁷ Cs	¹⁴⁰ La
8-août-74	130.24	34.225		2.59	8.88	3.7
9-août-74	80.66	32.56		2.22	7.77	4.44
10-août-74	121.36	7.03		2.59	8.51	4.07
11-août-74	106.19			2.59	7.4	5.18
12-août-74	86.95	28.86		2.22	8.88	5.55
13-août-74	84.989			1.11	4.81	1.85
14-août-74	72.15			1.48	7.4	2.96
15-août-74	61.79			1.48	7.03	2.96
16-août-74	69.93			0.74	8.51	2.22
17-août-74	71.04			0.74		
18-août-74	64.75			0.74		
19-août-74	119.51			0.74		
20-août-74	79.92			5.92		
21-août-74	64.01			7.77		
22-août-74	41.44			7.77		
23-août-74	32.93			7.77		
24-août-74	25.9			8.88		
25-août-74	38.85			7.77		
26-août-74	59.57			9.99		
27-août-74	12.58			12.58		
28-août-74	43.29			8.51		
29-août-74	51.06			8.51		
30-août-74	38.85			8.51		
31-août-74				8.14		
1-sept.-74	16.65			9.25	9.25	
2-sept.-74	14.43				7.03	
3-sept.-74	14.06				8.14	
4-sept.-74	6.29				5.18	
5-sept.-74	16.28				8.51	
6-sept.-74	22.94				9.25	
7-sept.-74	17.39				8.51	
8-sept.-74	14.06				8.88	
9-sept.-74	20.72				7.77	
10-sept.-74	18.5				8.51	
11-sept.-74	14.8				9.25	
12-sept.-74	8.88				10.73	
13-sept.-74						
14-sept.-74	10.73				8.88	
15-sept.-74						
16-sept.-74	24.42					
Act intégrée (Bq.j.l⁻¹)	1.2E+04	6.2E+03	1.4E+03	1.9E+02	3.7E+02	1.2E+02

Tableau 6 : Evolution dans le temps de l'activité volumique mesurée dans le lait de Hitiaa (Bq.l⁻¹) du 19 juillet au 16 septembre

Des mesures de l'activité en ¹³¹I, ¹³²I, ¹³³I, ¹³⁶Cs, ¹³⁷Cs, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr dans du lait prélevé à Taravao du 19 juillet au 26 août 1974 (cf. Tableau 34, page 48) serviront au calcul de dose à Pirae, au sud de Teahupoo et sur le plateau de Taravao, ainsi qu'à Mahina.

A Taravao, l'activité en ¹³¹I intégrée du 19 juillet au 26 août a été de l'ordre de 2000 Bq.j.l⁻¹. Les activités intégrées en ¹³²I et ¹³³I sur cette même période étaient respectivement de l'ordre de 325 et 800 Bq.j.l⁻¹.

VI.2.2 - VEGETAUX COMESTIBLES

Les calculs de doses seront effectués en utilisant les activités mesurées dans les végétaux.

Les activités mesurées dans les végétaux sont indiquées en annexe, du Tableau 35 au Tableau 38, pages 48 à 50. On dispose d'activités mesurées dans différents végétaux (fafa, salades, choux chinois ...) à compter de mi-juillet 1974.

On a mesuré jusqu'à 10^4 Bq.kg⁻¹ en ¹⁴⁰La, ¹³¹I, ¹³²I et ¹³³I dans le fafa (cf. Tableau 7) et jusqu'à 9000 Bq.kg⁻¹ en ¹⁴⁰La dans les salades à Hitiaa (cf. Tableau 35), point de prélèvement où l'activité est la plus élevée.

Date	Activité dans du fafa (Bq.kg ⁻¹)							
	mélange β global	¹⁴⁰ La	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I	¹⁰³ Ru	⁹⁵ Zr	¹⁴¹ Ce
19 juillet 74	4.1E+05	1.0E+04	8.0E+03	1.3E+04	1.1E+04			
22 juillet 74	9.3E+04	7.7E+03	1.2E+03		1.5E+02			
26 juillet 74	1.2E+04	1.8E+03	5.9E+02					
30 juillet 74	5.2E+03	7.6E+02	7.5E+02	2.5E+02				
8 août 74	1.2E+03	2.6E+02	1.4E+02					
22 août 74	7.9E+02	2.0E+02	4.1E+01			9.3E+01	8.2E+01	7.1E+01
5 sept. 74	8.4E+01		4.8E+00					
19 sept. 74	2.4E+02	1.0E+04	8.0E+03	1.3E+04	1.1E+04			

Tableau 7 : Evolution dans le temps de l'activité dans le fafa prélevé à Hitiaa (Bq.kg⁻¹) du 19 juillet au 19 septembre

L'activité β globale dans le fafa de Hitiaa, recalculée à partir de l'activité en ¹³¹I, est de l'ordre de 4. 10⁵ Bq.kg⁻¹. Les ratios des activités entre les différents isotopes déduits de l'évolution du terme source sont donc conservés dans le fafa.

A Teahupoo, le 19 juillet, l'activité dans le fafa était de 2070 Bq.kg⁻¹ en ¹⁴⁰La et de 4290 Bq.kg⁻¹ en ¹³¹I (cf. Tableau 36). A cet endroit, l'activité dans les salades est beaucoup plus faible, inférieure à 100 Bq.kg⁻¹.

A Paea, le 19 juillet, l'activité dans le fafa était de 1640 Bq.kg⁻¹ en ¹⁴⁰La et de 2690 Bq.kg⁻¹ en ¹³¹I (cf. Tableau 37).

Les mesures concernant les végétaux de Papeete ne sont disponibles qu'à compter de début août (cf. Tableau 38) et sont donc difficilement exploitables. Elles sont au plus de 2180 Bq.kg⁻¹ en ¹⁴⁰La dans les choux chinois et de 150 à 180 Bq.kg⁻¹ en ¹³¹I dans les poireaux ou les choux chinois.

VI.2.3 - VIANDES

Quelques mesures d'activité de viandes (porc, poulet) à Tahiti sont disponibles ; elles sont au plus de 16 Bq.kg⁻¹ de porc en ¹³⁷Cs (cf. Tableau 39, page 51 et Tableau 44, page 53).

Dans d'autres animaux, l'activité était de 17 Bq.kg⁻¹ en ⁹⁵Zr, de 33 Bq.kg⁻¹ en ¹⁰³Ru le 24 juillet (cf. Tableau 39, page 51).

Ces mesures servent à l'évaluation de doses efficaces et à la thyroïde par ingestion. Pour l'évaluation de l'activité des différents isotopes, on appliquera le rapport des activités entre les différents isotopes déduits de l'évolution du terme source à la date de la mesure à l'activité mesurée en ⁹⁵Zr.

VI.2.4 - ŒUFS

Le 26 juillet, l'activité dans des œufs de Mahina était de 3800 Bq.kg^{-1} en β global, de 190 Bq.kg^{-1} en ^{140}La , de 965 Bq.kg^{-1} en ^{131}I et de 229 Bq.kg^{-1} en ^{132}I . Le 25 juillet, l'activité globale dans les œufs de Mahina était près de 2 fois plus élevée (6500 Bq.kg^{-1}) que le 26 juillet (cf. Tableau 40, page 52). La valeur la plus élevée sera utilisée dans les calculs.

Le 26 juillet, l'activité dans des œufs de Hitiaa est de 4660 Bq.kg^{-1} en β global ; le 29 juillet, l'activité est de 740 Bq.kg^{-1} en ^{140}La et de 350 Bq.kg^{-1} en ^{131}I (cf. Tableau 41, page 52).

A Paea, l'activité dans les œufs était de 58 Bq.kg^{-1} en ^{131}I le 26 juillet (cf. Tableau 42). A Teahupoo, à cette même date, l'activité dans les œufs est de l'ordre de 165 Bq.kg^{-1} en ^{140}La et ^{131}I (cf. Tableau 43). A ces deux endroits, l'activité en β global n'est pas disponible.

Faute d'informations sur les transferts relatifs des radionucléides aux œufs, on appliquera à l'activité exprimée en β global la répartition de l'activité déduite de l'évolution du terme source à la même date.

VI.2.5 - POISSONS ET PRODUITS DE LA PECHE

Les mesures sur les poissons, crustacés et mollusques sont tardives ; on dispose de l'activité dans du rouget et du surmulet le 25 juillet ; elle est au plus de 6 Bq.kg^{-1} en ^{95}Zr (cf. Tableau 44). La plupart des mesures datent de fin août à septembre. L'activité maximale dans du bénitier est de l'ordre de 20 Bq.kg^{-1} en ^{103}Ru le 25 juillet.

On dispose également de mesures dans la chevrette. L'activité est au plus de 81 Bq.kg^{-1} en ^{95}Zr et de 192 Bq.kg^{-1} en ^{131}I , le 6 août.

Ces mesures servent à l'évaluation de doses efficaces et à la thyroïde par ingestion. Pour l'évaluation de l'activité des différents isotopes dans le poisson ou le bénitier, on appliquera le rapport des activités entre les différents isotopes déduits de l'évolution du terme source à la date de la mesure à l'activité mesurée, soit en ^{95}Zr (poisson et bénitier), soit en ^{103}Ru (bénitier), soit encore en ^{131}I (chevrette).

VII - CALCULS DE DOSES

VII.1 - DOSES PAR INHALATION

Pour les différents isotopes sous forme d'aérosols, l'activité intégrée dans l'air pendant la durée de la retombée a été estimée en prenant en compte deux vitesses de dépôt, à savoir $5 \cdot 10^{-3}$ et 10^{-2} m.s^{-1} , correspondant respectivement à un dépôt sec et un dépôt par temps de pluie.

Cette activité intégrée dans l'air est estimée à partir des activités déposées au sol :

- $3,3 \cdot 10^5 \text{ Bq.m}^{-2}$ à Pirae (temps sec),
- $2,5 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$, à Mahina (temps de pluie),
- $7,5 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$ à Hitiaa (temps de pluie),
- $2,75 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$ au sud de Teahupoo et sur le plateau de Taravao (temps de pluie), correspondant à la valeur maximale mesurée d'activité au sol.

VII.1.1 - DOSE EFFICACE PAR INHALATION

Classe d'âge		Bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte	
Débit respiratoire ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		$3,31 \cdot 10^{-5}$	$5,97 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^{-4}$	
Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	$5 \cdot 10^{-3}$	Pirae	3.2E-02	5.0E-02	4.6E-02	4.9E-02	4.8E-02	4.6E-02
	10^{-2}	Mahina	0,12	0,19	0,18	0,19	0,18	0,17
	10^{-2}	Hitiaa	0,37	0,57	0,53	0,56	0,55	0,52
	10^{-2}	Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	1,3	2,1	2,0	2,1	2,0	1,9

Tableau 8 : Dose efficace par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)

La dose efficace la plus élevée, de l'ordre de 2 mSv, est calculée pour le dépôt de $2,75 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$, valeur maximale mesurée au sud de Teahupoo et sur le plateau de Taravao par temps de pluie.

VII.1.2 - DOSE A LA THYROÏDE PAR INHALATION

Classe d'âge		Bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte	
Débit respiratoire ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		$3,31 \cdot 10^{-5}$	$5,97 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^{-4}$	
Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	$5 \cdot 10^{-3}$	Pirae	0,33	0,57	0,51	0,44	0,37	0,27
	10^{-2}	Mahina	1,3	2,2	1,9	1,7	1,4	1,0
	10^{-2}	Hitiaa	3,8	6,4	5,8	5,0	4,2	3,1
	10^{-2}	Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	14,3	24,2	20,9	18,7	15,4	11

Tableau 9 : Dose à la thyroïde par inhalation pour différentes classes d'âge (mSv)

Comme pour la dose efficace par inhalation, la dose à la thyroïde la plus élevée, de l'ordre de 25 mSv, est calculée pour le dépôt le plus important ($2,75 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$) mesuré au sud de Teahupoo et sur le plateau de Taravao par temps de pluie, pour un enfant âgé de 1 à 2 ans. Ce scénario

correspond à une situation où un enfant se serait trouvé au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao, donc hors de son village, pendant le passage du panache.

VII.2 - DOSE PAR IRRADIATION EXTERNE

Ces doses sont identiques quel que soit l'âge de l'individu.

VII.2.1 - IRRADIATION EXTERNE PAR LE PANACHE

La dose par irradiation par le panache est calculée pour un individu exposé sans protection pendant le passage du panache.

Pour les aérosols, l'activité volumique intégrée pendant la durée de passage du nuage est identique à celle utilisée pour le calcul de la dose par inhalation. Les rapports des activités entre les gaz rares et les autres isotopes du terme source sont identiques à ceux estimés à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

L'isotope qui contribue le plus à la dose, à 21%, est le ^{132}Te .

Hypothèses	Dépôt sec	Dépôt "pluie"	Dépôt "pluie"	Dépôt "pluie"
Emplacement	Pirae	Mahina	Hitiaa	Sud de Teahupoo et plateau de Taravao
Dépôt (Bq.m^{-2})	$3,3 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^6$	$2,75 \cdot 10^7$
Vitesse de dépôt (m.s^{-1})	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
Dose tous isotopes (mSv)	0,002	0,008	0,025	0,09

Tableau 10 : Dose efficace par irradiation par le panache (mSv)

La dose par irradiation externe par le panache est toujours inférieure à 0,1 mSv, quels que soient le dépôt considéré et la vitesse de dépôt associée.

VII.2.2 - IRRADIATION EXTERNE PAR LES DEPOTS

Pour Pirae, Mahina et Hitiaa, on a supposé que les personnes passaient 2/3 du temps à l'extérieur. Pour la zone inhabitée du sud de Teahupoo et sur le plateau de Taravao, on a supposé que les personnes passaient 4 heures par jour sur la zone contaminée pendant 6 mois.

Le débit de dose calculé à H+54 est majoritairement dû au ^{132}Te et est de $6 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ dans le cas d'un dépôt de $2,5 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$ (cas de Mahina). Cette valeur est globalement cohérente avec la mesure de $3,9 \mu\text{Gy.h}^{-1}$, effectuée à Mahina.

Le Tableau 11 et le Tableau 12 présentent respectivement le débit de dose maximal dû au dépôt et la dose intégrée pour différentes durées d'exposition.

Emplacement	Dépôt (Bq.m ⁻²)	Débit de dose (μSv.h ⁻¹)
Pirae	3,3. 10 ⁵ Bq.m ⁻²	0,7
Mahina	2,5. 10 ⁶ Bq.m ⁻²	6
Hitiaa	7,5. 10 ⁶ Bq.m ⁻²	18
Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	2,75. 10 ⁷ Bq.m ⁻²	62

Tableau 11 : Débit de dose maximal dû au dépôt (μSv.h⁻¹)

Lieu	Pirae	Mahina	Hitiaa	Sud de Teahupoo et plateau de Taravao
Dépôt	3,3. 10 ⁵	2,5. 10 ⁶	7,5. 10 ⁶	2,75. 10 ⁷
Taux de présence	16 h/ jour	16 h/ jour	16 h/ jour	4 h/ jour
1 jour	0,007	0,05	0,15	0,14
2 jours	0,013	0,09	0,26	0,24
1 semaine	0,026	0,18	0,53	0,50
2 semaines	0,033	0,24	0,71	0,66
1 mois	0,040	0,30	0,91	0,84
6 mois	0,053	0,38	1,15	1,06

Tableau 12 : Evolution de la dose efficace par irradiation due aux dépôts (mSv) en fonction du temps de présence

Evolution de la dose due au dépôt en fonction du temps de présence

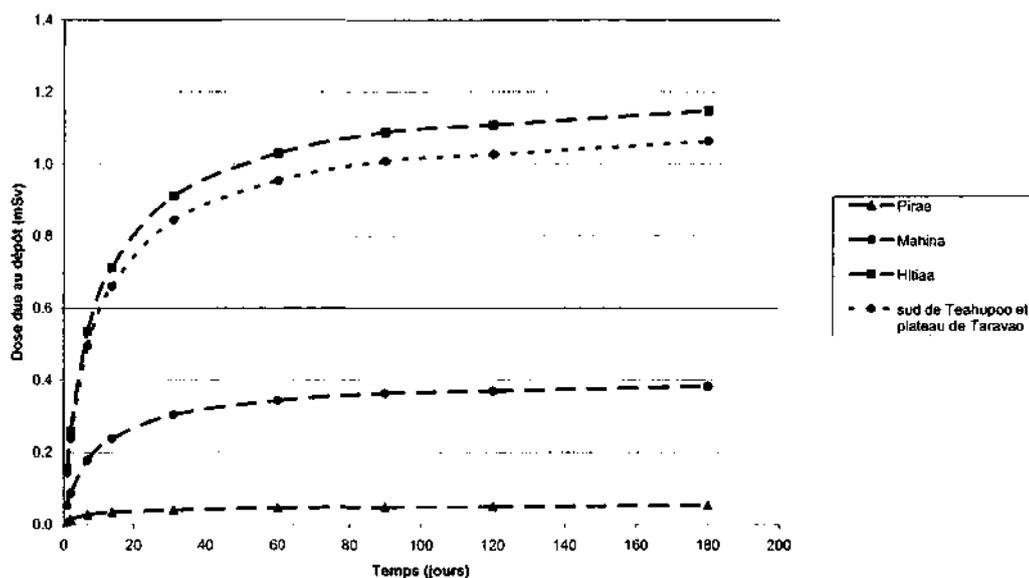


Figure 3 : évolution de la dose externe due au dépôt (mSv) en fonction du temps de présence sur le dépôt

La dose due au dépôt augmente rapidement au début de l'exposition. Par la suite, après la disparition des isotopes à vie courte, la dose par irradiation externe due au dépôt de $2,5 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$ mesuré à Mahina est de l'ordre de 0,4 mSv pour les six mois suivant l'essai. Elle est de l'ordre de 0,05 mSv dans le cas du dépôt de $3,3 \cdot 10^5 \text{ Bq.m}^{-2}$ mesuré à Pirae, de 1,15 mSv pour le dépôt de $7,5 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$, relevé à Hitiaa et de 1,1 mSv pour le dépôt de $2,75 \cdot 10^7 \text{ Bq.m}^{-2}$, mesuré au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao (cf. Tableau 12 et Figure 3).

Le tableau suivant présente les isotopes qui contribuent le plus à la dose due au dépôt, en fonction de la durée d'exposition.

Temps de présence	Isotopes contribuant le plus à la dose
1 jour	^{132}Te (34%), ^{140}Ba (13%), ^{133}I (9,5%), ^{97}Zr (7,8%)
2 jours	^{132}Te (36%), ^{140}Ba (15%), ^{133}I (8,3%), ^{97}Zr (6,4%)
1 semaine	^{132}Te (38,9%), ^{140}Ba (22,1%), ^{133}I (5%), ^{99}Mo (4,7%), ^{97}Zr (3,6%)
2 semaines	^{132}Te (35,9%), ^{140}Ba (28,1%), ^{99}Mo (4,2%), ^{131}I (3,9%), ^{133}I (3,8%)
1 mois	^{140}Ba (34,2%), ^{132}Te (30,3%), ^{103}Ru (4,8%), ^{95}Zr (3,5%)
6 mois	^{140}Ba (33,9%), ^{132}Te (24,2%), ^{103}Ru (9%), ^{131}I (3,6%), ^{99}Mo (2,7%)

Tableau 13 : Isotopes majoritaires dans la dose efficace par irradiation due aux dépôts en fonction du temps d'exposition

VII.3 - DOSE PAR INGESTION AVEC PRISE EN COMPTE DE RATIONS ALIMENTAIRES

Les quantités ingérées quotidiennement par les adultes sont indiquées dans le Tableau 2, pages 11 et 12.

VII.3.1 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION D'EAU

Trois calculs sont effectués :

- le premier, permettant d'évaluer une dose "minimale", à partir d'une activité intégrée en β - γ global de 2637 Bq.j.l⁻¹ mesurée dans de l'eau de boisson de Pirae à partir du 19 juillet (Tableau 5),
- le second, permettant d'évaluer une dose maximale, à partir d'une mesure d'activité intégrée en β - γ global de 13416 Bq.j.l⁻¹ dans de l'eau de boisson d'Hitiaa à partir du 19 juillet (Tableau 4),
- le troisième, pour l'évaluation de l'impact au sud de Teahupoo et sur le plateau de Taravao, à partir d'une activité intégrée en β - γ global de 2158 Bq.j.l⁻¹ mesurée dans de l'eau de boisson de Teahupoo à partir du 19 juillet (Tableau 5).

On considère des consommations d'eau fonction de la classe d'âge et du lieu d'habitation (mode de vie "rural" à Hitiaa et au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao). De manière conservative, on a supposé que les nourrissons de moins de 1 an consommaient de l'eau.

On utilise l'activité intégrée dans l'eau sur toute la période et suppose que la répartition de l'activité des différents isotopes est identique dans l'eau et le terme source.

VII.3.1.1 - Dose efficace

Classe d'âge	Lieu	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Consommation (l.j ⁻¹)	Pirae	0,5	1	1,25	1,5	2	2,7
Dose totale (mSv)		0,03	0,05	0,03	0,02	0,016	0,016
Consommation (l.j ⁻¹)	Hitiaa	0,3	0,5	0,5	0,75	1	1
Dose totale (mSv)		0,08	0,1	0,05	0,05	0,04	0,03
Consommation (l.j ⁻¹)	Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	0,3	0,5	0,5	0,75	1	1
Dose totale (mSv)		0,014	0,018	9,1.10 ⁻³	7,6. 10 ⁻³	6,2. 10 ⁻³	4,5. 10 ⁻³

Tableau 14 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau de boisson

Compte tenu des hypothèses de quantité d'eau consommée, la dose efficace la plus élevée est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans. Pour cette classe d'âge, la dose efficace varie de 0,02 à 0,1 mSv selon la consommation et l'activité initiale.

VII.3.1.2 - Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Lieu	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Consommation (l.j ⁻¹)	Pirae	0,5	1	1,25	1,5	2	2,7
Dose totale (mSv)		0,3	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2
Consommation (l.j ⁻¹)	Hitiaa	0,3	0,5	0,5	0,75	1	1
Dose totale (mSv)		0,9	1,3	0,7	0,5	0,45	0,3
Consommation (l.j ⁻¹)	Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	0,3	0,5	0,5	0,75	1	1
Dose totale (mSv)		0,15	0,22	0,13	0,09	0,08	0,05

Tableau 15 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'eau de boisson

Compte tenu des hypothèses de quantité d'eau consommée, les doses les plus élevées sont calculées pour des enfants âgés de 1 à 2 ans. Selon l'activité et la quantité consommée, ces doses à la thyroïde varient de 0,22 à 1,3 mSv.

VII.3.2 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION DE LAIT

On a supposé que la consommation était de 0,7 litre de lait par jour pour les nourrissons, de 0,5 litre par jour pour les enfants âgés de 1 à 2 ans et de 0,3 litre par jour pour les autres classes d'âge.

L'activité globale dans le lait a été calculée à partir de l'activité en ¹³¹I.

Deux calculs sont effectués :

- le premier, permettant d'évaluer une dose "maximale", à partir de l'activité intégrée sur le temps de $1,2 \cdot 10^4 \text{ Bq.j.l}^{-1}$ en ¹³¹I, mesurée dans le lait d'Hitiaa du 19 juillet au 16 septembre (Tableau 6),
- le second à partir de mesures dans le lait de Taravao (2050 Bq.j.l^{-1} en ¹³¹I) du 19 juillet au 26 août, (Tableau 34).

Le lait produit à Hitiaa est uniquement consommé à Hitiaa, le lait de Taravao est consommé aux autres lieux (Pirae, Mahina, sud de Teahupoo et plateau de Taravao).

VII.3.2.1 - Dose efficace

Classe d'âge	Lieu	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (l.j ⁻¹)		0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
Dose totale (mSv)	Hitiaa	4,2	2,1	0,7	0,4	0,2	0,2
Dose totale (mSv)	Pirae, sud de Teahupoo et plateau de Taravao	0,65	0,36	0,11	0,06	0,04	0,03

Tableau 16 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de lait - calcul à partir de la mesure en ¹³¹I dans le lait

La dose efficace la plus importante est évaluée pour un nourrisson. Pour cette classe d'âge, la dose efficace varie de 0,65 à 4,2 mSv selon la contamination du lait prise en compte.

VII.3.2.2 - Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Lieu	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (l.j ⁻¹)		0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
Dose totale (mSv)	Hitiaa	40	25	9	4	2,7	1,7
Dose totale (mSv)	Pirae, Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	7	4,5	1,5	0,7	0,5	0,4

Tableau 17 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de lait – calcul à partir de la mesure en ¹³¹I dans le dépôt

La dose à la thyroïde la plus élevée est évaluée pour un nourrisson qui consomme beaucoup de lait. Elle varie de 7 à 40 mSv, selon la contamination initiale du lait.

VII.3.3 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION DE VEGETAUX

Trois calculs ont été effectués à partir des mesures d'activité dans le fafa :

- $4,1 \cdot 10^5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en β global le 19 juillet à Hitiaa (cf. Tableau 7),
- 4290 Bq.kg^{-1} en ^{131}I , à Teahupoo le 19 juillet (cf. Tableau 36), correspondant à une activité globale de $2,2 \cdot 10^5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en β global,
- 2690 Bq.kg^{-1} en ^{131}I , à Paea le 19 juillet (cf. Tableau 37), correspondant à une activité globale de $1,4 \cdot 10^5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en β global. Ces végétaux sont supposés être consommés à Pirae.

On a supposé que la consommation de végétaux est identique quel que soit le lieu étudié.

La ration alimentaire, supposée égale à 100 grammes par jour pour l'adulte, intègre la totalité des quantités ingérées quotidiennement en légumes feuilles et légumes racines (cf. Tableau 2). En effet, l'activité dans les légumes racines, principalement due aux phénomènes de translocation et aux transferts racinaires est certainement plus faible que l'activité dans les légumes feuilles. On considère des consommations fonction de la classe d'âge et on suppose que le nourrisson ne consomme pas ce produit.

VII.3.3.1 - Dose efficace

Classe d'âge	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	0	0,03	0,05	0,075	0,1	0,1
Pirae	-	0,35	0,30	0,25	0,21	0,15
Hitiaa	-	0,95	0,81	0,69	0,55	0,41
Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	-	0,56	0,48	0,41	0,33	0,24

Tableau 18 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de végétaux – activités mesurées dans les végétaux

Selon l'activité initiale, la dose efficace due à la consommation de végétaux varie de 0,35 à 0,95 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

VII.3.3.2 - Dose à la thyroïde

Classe d'âge	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	0	0,03	0,05	0,075	0,1	0,1
Pirae	-	4,3	4,1	2,9	2,6	1,7
Hitiaa	-	11,9	11,3	8,0	7,1	4,5
Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	-	6,9	6,5	4,6	4,1	2,6

Tableau 19 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de végétaux – activités mesurées dans les végétaux

La dose à la thyroïde par ingestion varie de 4,3 à 11,9 mSv, pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

VII.3.4 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION DE PRODUITS ANIMAUX

VII.3.4.1 - Consommation de viande

Peu de données sont disponibles.

L'activité dans la viande est estimée à partir de la mesure en ^{95}Zr dans de la viande de Papeete (17 Bq.kg^{-1}), le 24 juillet (cf. Tableau 39, page 51).

Faute d'informations précises sur les transferts des différents isotopes à la viande, on a supposé que le rapport des activités dans le dépôt et la viande est identique. L'activité globale estimée est de l'ordre de 985 Bq.kg^{-1} .

On considère des consommations fonction de la classe d'âge et du lieu de vie (mode de vie "rural" à Hitiaa et au sud de Teahupoo et sur le plateau de Taravao) et on suppose que le nourrisson ne consomme pas de viande.

Compte tenu de la faible quantité de données et de la méconnaissance de l'évolution de l'activité dans la viande au cours du temps, la dose par ingestion de viande est calculée en supposant une consommation quotidienne pendant 6 mois, avec le niveau d'activité mesuré (17 Bq.kg^{-1}).

Dose efficace

Classe d'âge	Mode de vie	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	"urbain"	0	0,02	0,02	0,05	0,08	0,08
Dose 6 mois (mSv)		-	0,08	0,04	0,06	0,06	0,04
Conso (kg.j^{-1})	"rural"	0	0,01	0,01	0,015	0,03	0,03
Dose 6 mois (mSv)		-	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02

Tableau 20 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de viande de Papeete

La dose efficace due à la consommation de viande la plus élevée est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans. Cette dose varie de 0,04 à 0,08 mSv, pour une consommation quotidienne de viande présentant l'activité mesurée pendant 6 mois, ce qui est probablement très pénalisant, l'activité diminuant au moins avec la décroissance radioactive.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Mode de vie	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	"urbain"	0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Dose 6 mois (mSv)		-	1,1	0,6	0,7	0,8	0,5
Conso (kg.j^{-1})	"rural"	0	0,01	0,01	0,015	0,03	0,03
Dose 6 mois (mSv)		-	0,54	0,3	0,22	0,3	0,2

Tableau 21 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de viande de Papeete

Pour les enfants âgés de 1 à 2 ans, classe d'âge pour laquelle la dose est la plus élevée, la dose à la thyroïde due à la consommation de viande varie de 0,5 à 1,1 mSv, en supposant une consommation journalière de viande présentant l'activité mesurée. Cette voie d'atteinte n'est pas prépondérante.

VII.3.4.2 - Consommation d'œufs

Quel que soit le lieu étudié, on a supposé une consommation de 2 à 7 œufs, pesant 30 grammes, par semaine selon la classe d'âge, sauf pour le nourrisson qui ne consomme pas d'œufs.

Trois calculs ont été effectués :

- le premier à partir de mesures dans les œufs de Mahina, consommés à Pirae ; l'activité maximale est de 6500 Bq.kg^{-1} le 25 juillet (cf. Tableau 40),
- le second à partir de mesures dans des œufs de Hitiaa (4660 Bq.kg^{-1} en $\beta\text{-}\gamma$ global le 26 juillet – cf. Tableau 41),
- le dernier à partir de mesures dans des œufs de Teahupoo, (165 Bq.kg^{-1} en ^{131}I - cf. Tableau 43), l'activité $\beta\text{-}\gamma$ globale déduite est de l'ordre de 2300 Bq.kg^{-1} le 26 juillet.

On a pris en compte la décroissance de l'activité au cours du temps.

Faute d'informations précises sur les transferts des différents isotopes aux œufs, on a supposé que le rapport des activités dans le dépôt et les œufs est identique.

Dose efficace

Classe d'âge	Lieu	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (g.j^{-1})		0	10	15	15	30	30
Conso (œufs/semaine)		0	2	3	3	7	7
Dose 1 mois (mSv)	Pirae	-	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Dose 1 mois (mSv)	Hitiaa	-	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$
Dose 1 mois (mSv)	Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	-	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$

Tableau 22 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'œufs

La dose efficace due à la consommation d'œufs est au plus de 0,015 mSv ; la valeur la plus importante est évaluée pour les enfants de 1 à 2 ans.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Lieu	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (g.j^{-1})		0	10	15	15	30	30
Conso (œufs/semaine)		0	2	3	3	7	7
Dose 1 mois (mSv)	Pirae	-	0,18	0,16	0,08	0,10	0,07
Dose 1 mois (mSv)	Hitiaa	-	0,14	0,12	0,06	0,08	0,05
Dose 1 mois (mSv)	Sud de Teahupoo et plateau de Taravao	-	0,07	0,06	0,03	0,04	0,03

Tableau 23 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'œufs

La dose à la thyroïde due à la consommation d'œufs est au plus de l'ordre de 0,2 mSv ; la valeur la plus importante est évaluée pour les enfants de 1 à 2 ans. Cette voie d'atteinte est peu importante.

VII.3.4.3 - Consommation de poissons

L'activité dans le poisson est estimée à partir de la mesure en ^{95}Zr (6 Bq.kg^{-1}), réalisée le 25 juillet au marché de Papeete (cf. Tableau 44) ; elle est la même pour les différents lieux étudiés. L'activité globale déduite de cette mesure est de 407 Bq.kg^{-1} .

Faute d'informations précises sur les transferts des différents isotopes aux poissons, on a supposé que le rapport des activités dans le dépôt et les poissons est identique.

On considère des consommations fonction de la classe d'âge et du mode de vie (mode de vie "rural" à Hitiaa et au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao - cf. Tableau 2) et supposé que le nourrisson ne consomme pas de poisson.

La consommation est supposée se produire quotidiennement pendant 6 mois, avec le niveau d'activité mesuré dans le poisson.

Dose efficace

Classe d'âge	Mode de vie	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	"urbain"	0	0,10	0,10	0,15	0,37	0,37
Dose 6 mois (mSv)		-	0,15	0,08	0,07	0,1	0,07
Conso (kg.j^{-1})	"rural"	0	0,10	0,20	0,3	0,47	0,47
Dose 6 mois (mSv)		-	0,15	0,16	0,14	0,13	0,09

Tableau 24 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de poissons

Quelle que soit la classe d'âge considérée, la dose efficace due à la consommation de poissons est inférieure à 0,2 mSv en supposant une consommation journalière pendant 6 mois de poissons présentant l'activité mesurée dans le poisson.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Mode de vie	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	"urbain"	0	0,10	0,10	0,15	0,37	0,37
Dose 6 mois (mSv)		-	1,9	1,1	0,8	1,3	0,8
Conso (kg.j^{-1})	"rural"	0	0,10	0,20	0,3	0,47	0,47
Dose 6 mois (mSv)		-	1,9	2,2	1,5	1,6	1

Tableau 25 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de poissons

La dose maximale à la thyroïde due à la consommation de poissons est évaluée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans et est au plus de 1,9 mSv en supposant une consommation quotidienne de poissons.

VII.3.4.4 - Consommation de crustacés et mollusques

Peu de données sont disponibles. Deux calculs ont été effectués à partir de mesures dans des bénitiers et chevrettes :

- le premier, à partir des mesures d'activité en ^{103}Ru dans du bénitier (20 Bq.kg^{-1}), le 25 juillet, (cf. Tableau 44) ; l'activité globale déduite est de l'ordre de 600 Bq.kg^{-1} .
- le second, à partir d'une mesure d'activité en ^{131}I dans une chevrette (192 Bq.kg^{-1}), le 6 août (cf. Tableau 44), l'activité globale déduite est de l'ordre de 2770 Bq.kg^{-1} .

Faute d'informations précises sur l'activité de l'eau et les transferts des différents isotopes aux mollusques, on suppose que le rapport des activités dans le dépôt et les mollusques est identique.

On suppose que, pendant les 6 mois de consommation, l'activité reste au niveau mesuré.

On a pris en compte des consommations fonction de la classe d'âge et du mode de vie (mode de vie "rural" à Hitiaa et au sud de Teahupoo, ainsi que sur le plateau de Taravao - cf. Tableau 2) et supposé que le nourrisson ne consomme pas ce type d'aliment.

Dose efficace

Classe d'âge	Mode de vie et aliment	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	"urbain"	0	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
Dose 6 mois (mSv)	Bénitier	-	$2,3. 10^{-2}$	$1,1. 10^{-2}$	$6,6. 10^{-3}$	$1,2. 10^{-2}$	$9,0. 10^{-3}$
Conso (kg.j^{-1})	"rural"	0	0,03	0,05	0,10	0,19	0,19
Dose 6 mois (mSv)	Bénitier	-	$6,6. 10^{-2}$	$5,8. 10^{-2}$	$6,0. 10^{-2}$	$7,8. 10^{-2}$	$5,6. 10^{-2}$
Conso (kg.j^{-1})	"urbain" et "rural"	0	0,005	0,005	0,01	0,02	0,02
Dose 6 mois (mSv)	Chevrette	-	$5,8. 10^{-2}$	$2,9. 10^{-2}$	$3,5. 10^{-2}$	$4,1. 10^{-2}$	$3,1. 10^{-2}$

Tableau 26 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de mollusques et crustacés

Quelle que soit la classe d'âge considérée, la dose efficace due à la consommation de mollusques ou crustacés est au plus de l'ordre de 0,08 mSv, en supposant une consommation journalière de bénitiers pendant 6 mois.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Mode de vie et aliment	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})	"urbain"	0	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
Dose 6 mois (mSv)	Bénitier	-	0,30	0,18	0,06	0,18	0,12
Conso (kg.j^{-1})	"rural"	0	0,03	0,05	0,10	0,19	0,19
Dose 6 mois (mSv)	Bénitier	-	0,84	0,84	0,78	1,02	0,66
Conso (kg.j^{-1})	"urbain" et "rural"	0	0,005	0,005	0,01	0,02	0,02
Dose 6 mois (mSv)	Chevrette	-	0,66	0,36	0,36	0,48	0,3

Tableau 27 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de mollusques et crustacés

La dose à la thyroïde due à la consommation de mollusques et crustacés est au plus de l'ordre de 1 mSv en supposant une consommation quotidienne de bénitiers pendant 6 mois.

VIII - BILAN DES DOSES ESTIMEES

Les tableaux suivants présentent une synthèse des doses maximales reçues, respectivement doses efficaces et doses à la thyroïde, en indiquant les valeurs calculées pour Pirae et pour Hitiaa ainsi que celles calculées pour le sud de Teahupoo et sur le plateau de Taravao, pour les enfants âgés de 1 à 2 ans, classe d'âge la plus radio-sensible, et les adultes.

	Enfant 1-2 ans			Adulte		
	Pirae	Hitiaa	* Sud de Teahupoo / plateau de Taravao	Pirae	Hitiaa	* Sud de Teahupoo / plateau de Taravao
dose dépôt 6 mois	0,05	1,2	1,1	0,05	1,2	1,1
dose panache	$2,00 \cdot 10^{-3}$	0,025	0,09	$2,00 \cdot 10^{-3}$	0,025	0,09
dose efficace inhalation	0,05	0,57	2,1	0,046	0,52	1,9
eau	0,05	0,1	0,018	0,016	0,03	$4,5 \cdot 10^{-3}$
lait	0,36	2,1	0,36	0,03	0,2	0,03
végétaux	0,35	0,95	0,56	0,15	0,41	0,24
viande	0,08	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02
œufs	0,015	0,011	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
poissons	0,15	0,15	0,15	0,07	0,09	0,09
mollusques	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$
crustacés	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$
total ingestion	1,09	3,47	1,26	0,35	0,84	0,47
interne						
(inhalation + ingestion)	1,14	4,04	3,36	0,40	1,36	2,37
total	1,2	5,2	4,5	0,5	2,5	3,6

Tableau 28 : Synthèse des doses efficaces maximales (mSv)

* Ces évaluations correspondent aux adultes et aux enfants âgés de 1 à 2 ans qui étaient présents au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao (zones non habitées) pendant le passage du panache, et qui, ensuite, étaient présents sur ces lieux 4 heures par jour.

	Enfant 1-2 ans			Adulte		
	Pirae	Hitiaa	* Sud de Teahupoo / plateau de Taravao	Pirae	Hitiaa	* Sud de Teahupoo / plateau de Taravao
dose thyroïde inhalation	0,57	6,4	24,2	0,27	3,1	11
eau	0,6	1,3	0,22	0,2	0,3	0,05
lait	4,5	25	4,5	0,4	1,7	0,4
végétaux	4,3	11,9	6,9	1,7	4,5	2,6
viande	1,1	0,54	0,54	0,5	0,2	0,2
œufs	0,18	0,14	0,07	0,07	0,05	0,03
poissons	1,9	1,9	1,9	0,8	1	1
mollusques	0,3	0,84	0,84	0,12	0,66	0,66
crustacés	0,66	0,66	0,66	0,3	0,3	0,3
total ingestion	14	42	16	4	9	5
interne						
(inhalation + ingestion)	14	49	40	4	12	16

Tableau 29 : Synthèse des doses internes à la thyroïde maximales (mSv)

Nota : Les doses totales indiquées du Tableau 28 au Tableau 29 ne sont effectivement engagées aux populations que si celles-ci ont effectivement consommé des produits contaminés. Il est notamment vraisemblable que, pour une grande partie de la population, les doses engagées aient été encore inférieures ; en effet, des produits importés exempts de radioactivité étaient consommés à Tahiti.

Il faut donc considérer que les valeurs présentées dans le Tableau 28 et le Tableau 29, sont probablement les doses maximales qui ont pu être reçues aux différents lieux et zones.

IX - COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS

La dose efficace maximale pour un enfant de 1 à 2 ans vivant à Hitiaa est de l'ordre de 5 mSv ; elle est essentiellement due à la consommation de lait (qui représente à lui seul 60% de la dose par ingestion et 40% de la dose efficace totale), de végétaux contaminés, de poisson, ainsi qu'à la dose due au dépôt (cf. Figure 5).

La dose efficace pour un enfant âgé de 1 à 2 ans, ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao pendant le passage du nuage et accédant à ces zones par la suite pendant 4 heures par jour, est de l'ordre de 4,5 mSv au maximum, due à près de 50 % à la dose par inhalation et à 25% à la dose due au dépôt (cf. Figure 6).

La dose efficace pour un enfant vivant à Pirae ou à Papeete est de l'ordre de 1 mSv. Elle est due à 30% à la consommation de lait et de végétaux (cf. Figure 4).

La dose efficace maximale pour un adulte, ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao pendant le passage du nuage et accédant à ces zones par la suite pendant 4 heures par jour, est de 3,6 mSv ; la dose par inhalation contribue à plus de 50% à cette dose (cf. Figure 9). A Pirae, la dose efficace maximale pour un adulte, de l'ordre de 0,5 mSv, est due à plus de 30% à la consommation de végétaux (cf. Figure 7). A Hitiaa, la dose efficace maximale pour un adulte, de l'ordre de 2,5 mSv, est due à près de 50% à la dose due au dépôt (cf. Figure 8).

Les doses internes maximales à la thyroïde sont de l'ordre de 50 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans vivant à Hitiaa et consommant du lait (52% de la dose, cf. Figure 11) et de 16 mSv pour un adulte ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao pendant le passage du nuage et accédant à ces zones par la suite pendant 4 heures par jour, plus exposé à la voie inhalation (près de 70% de la dose à la thyroïde - cf. Figure 15). Pour les enfants ayant séjourné dans ces zones pendant le passage du nuage, la dose à la thyroïde, de l'ordre de 40 mSv, est essentiellement due à la dose par inhalation (60% de la dose - cf. Figure 12). A Pirae, les doses à la thyroïde sont dues à 30% à la consommation de lait et de végétaux pour les enfants âgés de 1 à 2 ans (cf. Figure 10) et à 40% à la consommation de végétaux pour les adultes (cf. Figure 13).

A Hitiaa (cf. Figure 14), la dose interne à la thyroïde pour un adulte, de l'ordre de 12 mSv au maximum, est due à près de 40% à la consommation de végétaux et à plus de 25% à la dose par inhalation.

Pour un enfant âgé de 1 à 2 ans, classe d'âge la plus exposée, la dose efficace maximale reçue est environ égale à 5 fois la limite actuellement prévue en fonctionnement normal pour le public (1 mSv) [8]. Elle est voisine de la limite pour le public en vigueur à l'époque de l'essai CENTAURE (5 mSv).

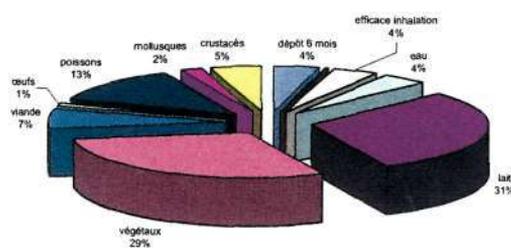


Figure 4 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un enfant âgé de 1 à 2 ans vivant à Pirae

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans vivant à Pirae), la dose efficace maximale est de 1,2 mSv.

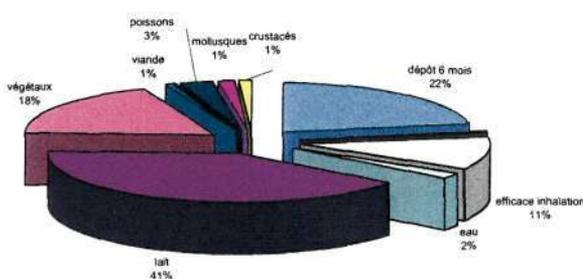


Figure 5 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un enfant âgé de 1 à 2 ans vivant à Hitiaa

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans vivant à Hitiaa), la dose efficace maximale est de 5,2 mSv.

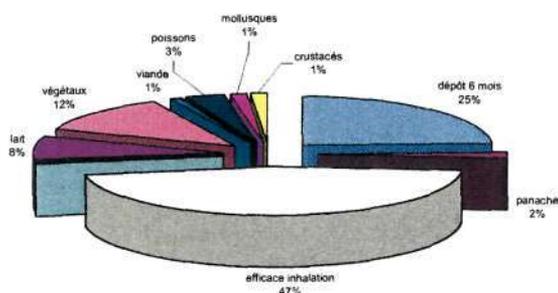


Figure 6 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un enfant âgé de 1 à 2 ans ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao

Dans ce cas, (enfants âgés de 1 à 2 ans ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao), la dose efficace maximale est de 4,5 mSv.

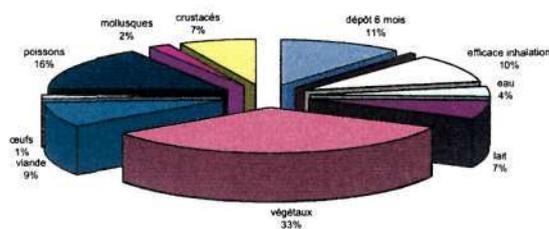


Figure 7 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un adulte vivant à Pirae

Dans ce cas (adultes vivant à Pirae), la dose efficace maximale est de 0,5 mSv.

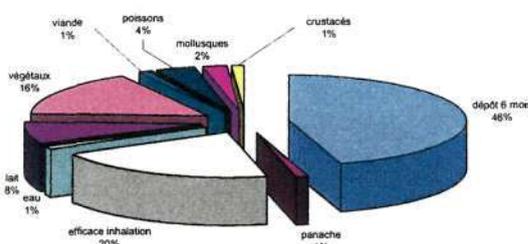


Figure 8 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un adulte vivant à Hitiaa

Dans ce cas (adultes vivant à Hitiaa), la dose efficace maximale est de 2,5 mSv.

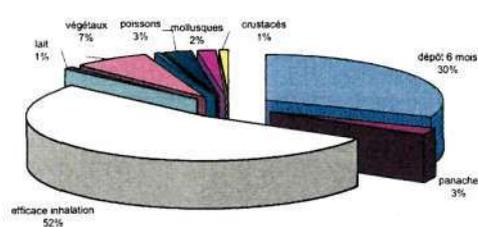


Figure 9 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour un adulte ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao

Dans ce cas (adultes ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao), la dose efficace est de 3,6 mSv.

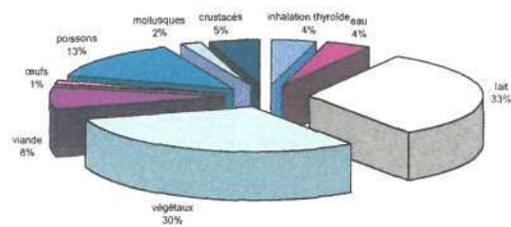


Figure 10 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un enfant âgé de 1 à 2 ans vivant à Pirae

Dans ce cas (enfants de 1 à 2 ans vivant à Pirae), la dose maximale à la thyroïde est de 14 mSv.

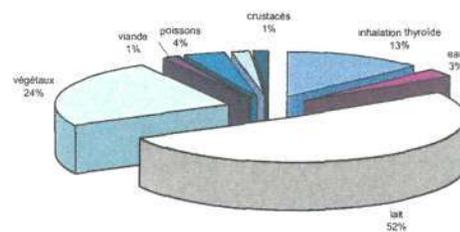


Figure 11 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un enfant âgé de 1 à 2 ans vivant à Hitiaa

Dans ce cas (enfants de 1 à 2 ans vivant à Hitiaa), la dose maximale à la thyroïde est de 49 mSv.

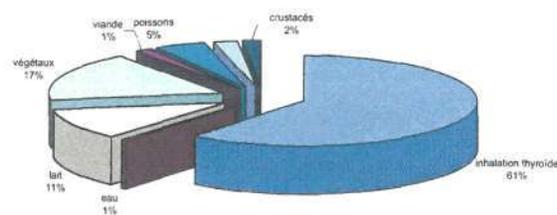


Figure 12 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un enfant âgé de 1 à 2 ans ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao), la dose maximale à la thyroïde est de 40 mSv.

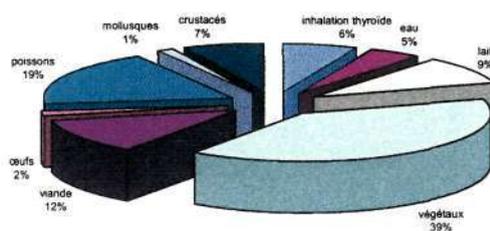


Figure 13 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un adulte vivant à Pirae

Dans ce cas (adultes vivant à Pirae), la dose maximale à la thyroïde est de 4 mSv.

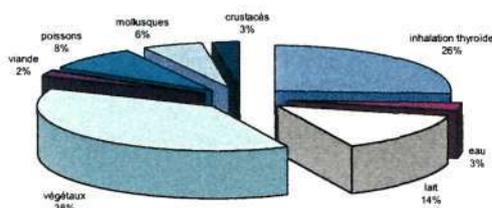


Figure 14 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un adulte vivant à Hitiaa

Dans ce cas (adultes vivant à Hitiaa), la dose à la thyroïde est de 12 mSv.

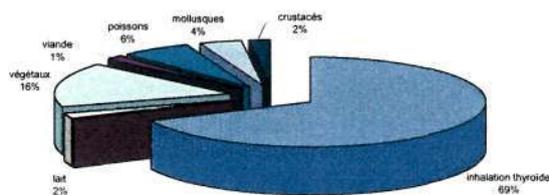


Figure 15 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour un adulte ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao

Dans ce cas (adultes ayant séjourné au sud de Teahupoo ou sur le plateau de Taravao), la dose maximale à la thyroïde est de 16 mSv.

X - CONCLUSION

Ce document présente l'impact dosimétrique sur la population de Tahiti des retombées de l'essai atmosphérique CENTAURE, réalisé le 17 juillet 1974. Toutes les voies d'atteinte sont considérées : l'inhalation (doses efficaces et doses à la thyroïde), l'irradiation externe (doses efficaces par le panache et les dépôts), l'ingestion (doses efficaces et doses à la thyroïde).

A partir des nombreuses mesures d'activités dans l'environnement (air, dépôts, produits de la chaîne alimentaire) couplées au calcul de terme source, il a été possible d'en déduire toutes les grandeurs nécessaires aux évaluations d'impact : l'activité de chaque isotope dans le panache, l'activité de chaque radionucléide dans les produits végétaux et animaux et leur évolution au cours du temps. Les calculs de doses par ingestion ont également pris en compte les différentes quantités consommées en fonction de l'âge de l'individu.

Afin d'obtenir les doses enveloppes reçues par les populations, deux vitesses de dépôt différentes ont été prises en compte pour les radionucléides. Les évaluations de dose par inhalation et de dose externe les plus élevées sont obtenues en utilisant une vitesse de dépôt de $0,01 \text{ m.s}^{-1}$, prenant en compte la pluie pendant le passage du panache.

- La classe d'âge la plus exposée est constituée des enfants âgés de 1 à 2 ans, qui ont une alimentation variée, composée des mêmes aliments que les adultes, et qui consomment notamment des végétaux. On a considéré ici que la ration alimentaire des nourrissons de moins de 1 an n'était constituée que de lait et d'eau.
- Pour la population adulte de l'île de Tahiti, les doses efficaces reçues s'échelonnent de 0,5 à 3,6 mSv et les doses à la thyroïde de 4 à 16 mSv environ.
- Pour la population la plus exposée, les enfants âgés de 1 à 2 ans, les doses efficaces reçues s'échelonnent de 1,2 à 5,2 mSv et les doses à la thyroïde de 14 à 49 mSv.

Concernant les doses efficaces :

- Compte tenu du fait que la plupart des habitants de Tahiti vivait, en 1974, dans les villes de Papeete, Pirae et Mahina, les évaluations effectuées dans cette étude indiquent que les doses efficaces reçues par cette grande majorité de la population étaient très inférieures à 5 mSv, valeur qui était, à l'époque, la valeur guide à ne pas dépasser pour le public, et, au plus, voisines de 1 mSv, qui est la valeur guide actuellement en vigueur pour le public.
- Des doses efficaces de l'ordre de 5 mSv n'ont pu être atteintes que pour une fraction très limitée de la population de Tahiti, constituée de quelques enfants vivant sur la commune d'Hitiaa et ayant consommé du lait d'origine locale, ainsi que de quelques enfants ayant éventuellement séjourné sur le plateau de Taravao ou dans la zone au sud de Teahupoo pendant le passage du nuage et qui, bien qu'il ne s'agisse pas de zones habitées, auraient pu y passer une partie de leurs journées.

Concernant les doses à la thyroïde :

- Les évaluations indiquent que les doses internes reçues à la thyroïde pour la plupart des habitants de Tahiti n'étaient pas supérieures à 15 mSv.
- Les doses maximales reçues à la thyroïde, de l'ordre de 50 mSv, n'ont également été atteintes que pour une fraction très limitée de la population, constituée de quelques enfants vivant sur la commune d'Hitiaa et ayant consommé du lait d'origine locale, ainsi que de quelques enfants ayant éventuellement séjourné sur le plateau de Taravao ou dans la zone au sud de Teahupoo pendant le passage du nuage et qui, bien qu'il ne s'agisse pas de zones habitées, auraient pu y passer une partie de leurs journées.

XI - ANNEXE 1 : DONNEES DE CALCUL

XI.1 - ISOTOPES MAJORITAIRES DANS LE TERME SOURCE

Isotope	Période (s)	Contribution (%)	
		avec gaz rares	sans gaz rares
²³⁹ Np	2.03E+05	12.24	13.49
¹⁰⁵ Rh	1.27E+05	7.58	8.36
¹³³ I	7.49E+04	6.96	7.68
⁹⁹ Mo	2.37E+05	6.43	7.09
^{99m} Tc	2.16E+04	6.21	6.85
¹⁴³ Ce	1.19E+05	5.26	5.80
¹³² I	8.26E+03	5.23	5.76
¹³² Te	2.77E+05	5.07	5.59
¹³³ Xe	4.53E+05	4.64	-
⁹⁷ Nb	4.33E+03	4.58	5.05
¹³⁵ Xe	3.29E+04	4.27	-
⁹⁷ Zr	6.03E+04	4.25	4.68
^{97m} Nb	5.27E+01	4.04	4.46
¹³¹ I	6.93E+05	2.01	2.22
¹⁴⁰ Ba	1.10E+06	1.92	2.11
¹⁴⁹ Pm	1.91E+05	1.52	1.67
¹⁴⁰ La	1.45E+05	1.25	1.37
^{131m} Te	1.08E+05	1.23	1.36
⁹³ Y	3.66E+04	1.21	1.33
¹⁴³ Pr	1.17E+06	1.04	1.15
¹⁵¹ Pm	1.02E+05	0.95	1.05
¹⁰³ Ru	3.39E+06	0.87	0.96
^{103m} Rh	3.37E+03	0.86	0.94
¹⁴⁷ Nd	9.49E+05	0.83	0.92
¹⁴¹ Ce	2.81E+06	0.78	0.86
⁹¹ Sr	3.47E+04	0.68	0.74
¹²⁷ Sb	3.33E+05	0.60	0.66
¹²⁷ Te	3.37E+04	0.54	0.59
¹⁵³ Sm	1.67E+05	0.53	0.59
^{109m} Ag	3.96E+01	0.44	0.49
¹⁰⁹ Pd	4.93E+04	0.44	0.49
³ H	3.89E+08	0.44	0.48
^{91m} Y	2.98E+03	0.43	0.48
¹³⁵ I	2.37E+04	0.39	0.43
⁹⁵ Zr	5.53E+06	0.37	0.41
¹¹² Ag	1.13E+04	0.35	0.39
^{133m} Xe	1.89E+05	0.33	-
¹¹² Pd	7.31E+04	0.30	0.33
¹¹¹ Ag	6.44E+05	0.27	0.30
¹³¹ Te	1.50E+03	0.26	0.29
^{115m} In	1.62E+04	0.23	0.25
¹²⁵ Sb	3.24E+04	0.23	0.25
⁹¹ Y	5.06E+06	0.22	0.24
¹¹⁵ Cd	1.92E+05	0.21	0.23

Isotope	Période (s)	Contribution (%)	
		avec gaz rares	sans gaz rares
¹²¹ Sn	9.74E+04	0.20	0.22
⁸⁹ Sr	4.37E+06	0.18	0.20
¹⁴⁵ Pr	2.15E+04	0.12	0.13
¹⁵⁷ Eu	5.46E+04	0.08	0.09
¹²⁵ Sn	8.33E+05	0.07	0.08
¹⁴⁴ Pr	1.04E+03	0.07	0.07
¹⁴⁴ Ce	2.46E+07	0.07	0.07
^{135m} Xe	9.17E+02	0.07	0.00
¹⁰⁶ Rh	3.00E+01	0.06	0.07
¹⁰⁶ Ru	3.22E+07	0.06	0.07
^{129m} Te	2.90E+06	0.06	0.07
¹⁵⁶ Eu	1.31E+06	0.05	0.06
¹³⁶ Cs	1.13E+06	0.05	0.05
¹²⁹ Te	4.18E+03	0.05	0.05
¹⁵⁶ Sm	3.38E+04	0.04	0.04
¹⁵⁹ Gd	6.65E+04	0.04	0.04
^{58m} Co	3.20E+04	0.03	0.04
¹⁰⁵ Ru	1.60E+04	0.03	0.04
⁵⁸ Co	6.12E+06	0.02	0.02
⁷⁷ As	1.40E+05	0.02	0.02
⁹⁵ Nb	3.02E+06	0.02	0.02
²⁴¹ Pu	4.52E+08	0.01	0.02
²⁴² Am	5.77E+04	0.01	0.02
¹⁴¹ La	1.41E+04	0.01	0.01
¹²⁶ Sb	1.07E+06	0.01	0.01
⁹² Y	1.27E+04	0.01	0.01
^{105m} Rh	4.00E+01	0.01	0.01
¹²⁹ Sb	1.57E+04	0.01	0.01
¹³⁰ I	4.45E+04	0.01	0.01
⁹⁶ Nb	8.41E+04	0.01	0.01
¹⁶¹ Tb	5.95E+05	0.01	0.01

Tableau 30 : Isotopes présents dans le nuage et le dépôt (sauf pour les gaz rares) à 54 heures

XI.2 - MESURES DANS L'ENVIRONNEMENT ET LES ALIMENTS

XI.2.1 - MESURES SUR DES FILTRES APA

On dispose de mesures d'activité sur des filtres APA positionnés à Mahina.

Sur un premier filtre, l'activité totale moyenne est de 629 Bq.m^{-3} , répartie comme indiqué dans le Tableau 31.

Isotope	Bq.m^{-3}
^{95}Zr	3
^{95}Nb	0,1
^{97}Zr	23
^{97}Nb	25
^{99}Mo	36
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	39
^{103}Ru	4
^{131}I	13
^{132}Te	21
^{132}I	22
^{133}I	15
^{136}Cs	0,4
^{140}Ba	10
^{140}La	7
^{143}Ce	24
^{198}Au	0,7
^{239}Np	83

Tableau 31 : Activités volumiques sur un filtre APA (Bq.m^{-3}) – Mahina – 19/07/74 – volume 240 m^3

Sur un deuxième filtre, l'activité totale moyenne est de 1180 Bq.m^{-3} , répartie comme indiqué dans le Tableau 32.

Isotope	Bq.m^{-3}
^{95}Zr	8
^{95}Nb	0.35
^{97}Zr	54
^{97}Nb	58
^{99}Mo	130
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	142
^{103}Ru	11
^{131}I	37
^{132}Te	60
^{132}I	62
^{133}I	43
^{136}Cs	1.62
^{137}Cs	0.05
^{140}Ba	37
^{140}La	24
^{141}Ce	11

Isotope	Bq.m ⁻³
¹⁴³ Ce	91
²³⁹ Np	278
²³⁹⁻²⁴⁰ Pu	0.07
²³⁸ Pu- ²⁴¹ Am	0.01
²⁴² Cm	0.03

Tableau 32 : Activités volumiques (Bq.m⁻³) sur un filtre APA – Mahina – 19/07/74 09h00 à 17h00 – volume 610 m³

XI.2.2 - ACTIVITE DANS LES EAUX DE BOISSON

L'activité globale en produits de fission dans les eaux de boisson est de l'ordre de 2200 Bq.l⁻¹ à Mahina le 19 juillet. Aux autres points, les activités sont inférieures (cf. Tableau 33).

	Taravao	Mahina	Tautira	Teahupoo	Paea	Mataiea	Pirae
19-juil.-74	1079	2231	1647	941	1109	1411	733
20-juil.-74	719	1510	448	144	325	437	463
21-juil.-74	209	1120	313	261	352	370	302
22-juil.-74	421	453	749	275	381	342	142
23-juil.-74	327	212	130	140	306	162	104
24-juil.-74	40	290	83	47	83	73	221
25-juil.-74	47	274	58	51	102	62	223
26-juil.-74	107	100	151	88	44	63	221
27-juil.-74	93	312		93	34	34	60
28-juil.-74	11	159		48	41	21	47
29-juil.-74	30	46		4	49	4	34
30-juil.-74	81	100		11	11	16	23
31-juil.-74	24	71		47	98	55	24
1-août-74	36	52		8		8	40

Tableau 33 : Activités – mélange de PF - dans l'eau de boisson (Bq.l⁻¹)

XI.2.3 - ACTIVITE DANS LE LAIT

Le Tableau 34 présente l'évolution de l'activité mesurée dans le lait de Taravao en juillet et août 1974.

	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁸⁹ Sr	¹³⁶ Cs	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I
19/07/1974	2.59				20.72	66.97	13.32
20/07/1974	3.33	0.12	3.37	0.22	85.10	5.55	258.26
21/07/1974	2.96			0.22	259.00	0.37	324.86
22/07/1974	2.22			0.22	192.40	15.17	103.23
23/07/1974	3.33			0.22	251.60	23.31	62.16
24/07/1974	4.44	0.16		0.30	207.20	30.34	27.38
25/07/1974	5.18	0.17		0.37	181.30	25.53	10.36
26/07/1974	2.59			0.37	136.90	19.61	2.96
27/07/1974	3.70			0.44	140.60	18.87	
28/07/1974	3.70	0.19	6.33	0.44	99.90	42.18	
29/07/1974	3.33			0.52	81.40	6.66	
30/07/1974	4.07			0.56	51.80	6.66	
31/07/1974	3.33			0.59	40.70	6.29	
01/08/1974	3.33			0.74	35.52	42.37	
02/08/1974	3.33			0.74	17.02	4.44	

	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁸⁹ Sr	¹³⁶ Cs	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I
03/08/1974	2.96			0.74	28.12	2.59	
04/08/1974	2.96				24.79	2.22	
05/08/1974	3.70			1.11	25.16	1.85	
06/08/1974	4.07			0.74	21.83	2.59	
07/08/1974	4.07			0.74	21.09		
08/08/1974	3.70	0.14	3.22		17.02		
09/08/1974	3.70				12.95		
10/08/1974	3.70			0.37	12.21		
11/08/1974	3.33			0.37	9.25		
12/08/1974	5.92			2.22	8.51		
13/08/1974	3.70			0.37	6.29		
14/08/1974	4.07				5.18		
15/08/1974	3.33	0.15	2.98		4.81		
16/08/1974	3.70				4.81		
17/08/1974	3.33				5.18		
18/08/1974	3.70				4.44		
19/08/1974	3.33				3.70		
20/08/1974	3.70	0.16	1.85		3.33		
21/08/1974	4.44		2.11		4.07		
22/08/1974	3.33				3.70		
23/08/1974	3.70				2.96		
24/08/1974	3.70				2.59		
25/08/1974	3.33				2.22		
26/08/1974	3.33				2.22		
Act intégrée (Bq.j.l⁻¹)	140	1	20	13	2040	325	800

Tableau 34 : Activités dans le lait de Taravao (Bq.l⁻¹) du 19 juillet au 26 août 1974

XI.2.4 - ACTIVITE DANS LES VEGETAUX

Le Tableau 35 présente l'évolution de l'activité mesurée dans des végétaux prélevés à Hitiaa de juillet à septembre 1974.

Salades	¹⁴⁰ La	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I	¹⁰³ Ru	⁹⁵ Zr	¹⁴¹ Ce
22 juillet 74	9032	2652		259			
30 juillet 74	2146	142	79				
8 août 74	178	71					
22 août 74	58				76	57	31
5 sept. 74		4					
19 sept. 74	68	1.1			76	83	135
Choux chinois	¹⁴⁰ La	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I	¹⁰³ Ru	⁹⁵ Zr	¹⁴¹ Ce
22 juillet 74	13357	2213	219	225			
30 juillet 74	3996	161	186				
8 août 74	451	85					
22 août 74	95				90	111	80
5 sept. 74	43	3					
19 sept. 74		1.9					

Tableau 35 : Activités dans des végétaux prélevés à Hitiaa (Bq.kg⁻¹) du 19 juillet au 19 septembre 1974

Le Tableau 36 présente l'évolution de l'activité mesurée dans des végétaux prélevés à Teahupoo de juillet à septembre 1974.

Fafa	^{140}La	^{131}I	^{132}I	^{133}I	^{95}Zr	^{103}Ru	^{141}Ce
19 juillet 74	2071	4291	5170	9357			
27 juillet 74	1701	468					
1 août 74	272	354	47		218	81	94
8 août 74	558	161					
22 août 74	60	17			33	32	60
10 sept. 74					70	41	65
19 sept. 74					60	24	54
Salades	^{140}La	^{131}I	^{132}I	^{133}I	^{95}Zr	^{103}Ru	^{141}Ce
8 août 74	84	12					
28 août 74	4				18	11	21
10 sept. 74					32	31	43
19 sept. 74					56	35	54

Tableau 36 : Activités dans des végétaux prélevés à Teahupoo (Bq.kg^{-1}) du 19 juillet au 19 septembre 1974

Le Tableau 37 présente l'évolution de l'activité mesurée dans des végétaux prélevés à Paea en juillet et août 1974.

Fafa	^{140}La	^{131}I	^{132}I	^{133}I
19 juillet 74	1646	2689	1553	6264
27 juillet 74	736	531		
1 août 74	94	135	33	
8 août 74		20		
22 août 74		6		
Salades	^{140}La	^{131}I	^{103}Ru	
8 août 74	1.11	8.51		
22 août 74				
Choux chinois	^{140}La	^{131}I	^{103}Ru	
22 août 74	2.22		8.51	

Tableau 37 : Activités dans des végétaux prélevés à Paea (Bq.kg^{-1}) du 19 juillet au 22 août 1974

Le Tableau 38 présente l'évolution de l'activité mesurée dans des végétaux prélevés à Papeete de juillet à septembre 1974.

Fafa (feuilles lavées)	^{140}La	^{131}I	^{137}Cs	^{95}Zr	^{103}Ru	^{141}Ce
16 août 74	5.2	6.7			34.8	
23 août 74			4.4	3.3	2.6	3.0
5 sept. 74		9.3				
Salade (feuilles lavées)	^{140}La	^{131}I	^{95}Zr	^{103}Ru	^{141}Ce	
5 août 74	9					
16 août 74	6					
23 août 74			3	3	3	
5 sept. 74		1.5	18	12	110	
Choux chinois	^{140}La	^{131}I	$^{132}\text{I-Te}$	^{95}Zr	^{103}Ru	$^{141-144}\text{Ce}$
5 août 74	2180	151	234			
16 août 74					26	
23 août 74				3	3	5
Poireaux	^{140}La	^{131}I	$^{132}\text{I-Te}$	^{95}Zr	^{103}Ru	$^{141-144}\text{Ce}$
5 août 74	683	179				
20 août 74	9	7			22	
23 août 74	165	8		85	89	59
5 sept. 74				188	18	12

Tableau 38 : Activités dans des végétaux prélevés à Papeete (Bq.kg^{-1}) en août et septembre 1974

XI.2.5 - ACTIVITE DANS LA VIANDE

Le Tableau 39 présente l'évolution de l'activité dans la viande de Papeete.

date	Activité dans la viande (Bq.kg ⁻¹)					
	¹³¹ I	¹³⁷ Cs	¹³⁶ Cs	¹⁰³ Ru	⁹⁵ Zr	¹⁴⁰ La
24 juillet 74				33	17	
		16				
		13				
		2		11	7	2
25 juillet 74				13	6	
26 juillet 74				5	9	
6 août 74		91	37			
8 août 74				9		
	8	6				
	10					
25 août 74	520					
	22					
4 sept. 74		12				
		4				
		8				
9 sept. 74		16				
13 sept. 74		7				
17 sept. 74		16				
		7				
		7				
		2				
23 sept. 74					2	

Tableau 39 : Activités dans des viandes de Papeete (Bq.kg⁻¹)

XI.2.6 - ACTIVITE DANS DES OEUFS

Les tableaux suivants présentent l'évolution de l'activité dans des œufs.

	Activité totale	^{140}La	^{131}I	^{132}I	^{133}I
25 juillet 74	6.52E+03	4.87E+02	1.41E+03	5.48E+02	
26 juillet 74	3.77E+03	1.91E+02	9.65E+02	2.29E+02	3.22E+01
29 juillet 74	2.05E+03	2.01E+02	3.93E+02	1.44E+02	
30 juillet 74	3.05E+03	1.36E+02	3.30E+02	6.07E+01	
1 août 74	1.51E+03	1.55E+02	1.58E+02	3.85E+01	
2 août 74	1.07E+03	6.18E+01	1.19E+02	3.12E+01	
3 août 74	5.01E+02		7.18E+01		
6 août 74	5.05E+02	1.04E+02	2.85E+01		
8 août 74	2.57E+02		5.22E+01		
13 août 74	2.80E+02		6.03E+01		
21 août 74	9.92E+01		1.52E+01		
28 août 74	8.44E+01				

Tableau 40 : Activités dans des œufs de Mahina (Bq.kg⁻¹)

	Act totale	^{140}La	^{131}I	^{132}I
26 juillet 74	4.66E+03		1.85E+01	
29 juillet 74	5.74E+03	7.40E+02	3.48E+02	2.84E+02
30 juillet 74	1.61E+03	4.26E+02	2.59E+02	4.81E+01
8 août 74	1.48E+03	7.22E+02	3.33E+01	
22 août 74	2.11E+02	8.51E+01		
5 sept 74	2.78E+01			

Tableau 41 : Activités dans des œufs de Hitiaa (Bq.kg⁻¹)

	^{140}La	^{131}I	^{133}I
26 juillet 74		58	8
1 août 74		36	
8 août 74		33	
22 août 74			

Tableau 42 : Activités dans des œufs de Paea (Bq.kg⁻¹)

	^{140}La	^{131}I	^{133}I
26 juillet 74	165	164	33
1 août 74	307	310	64
8 août 74	103	35	
22 août 74	107	76	
10 sept. 74		33	

Tableau 43 : Activités dans des œufs de Teahupoo (Bq.kg⁻¹)

XI.2.7 - ACTIVITE DANS LES PRODUITS DU MARCHÉ DE TARAVAO

Aliment	Date	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁸⁹ Sr	¹³⁶ Cs6	⁹⁵ Zr	¹⁰³ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁰ Ba ¹⁴⁰ La	¹⁴¹ Ce
Porc	24/07	14,80	0,02			2,55	1,70		8,88	2,04
Poulet	24/07	2,22	0,07			8,51	14,06	9,62	37,00	8,88
Bénitier	25/07	0,37	0,18			7,40	18,50	8,51	22,94	6,66
Bœuf	24/07	2,22	0,07			1,78	0,30			
Chevrette	17/07	4,07	0,11			0,74	1,55	11,84		0,52
	06/08	12,21	0,76	52,24		81,40	107,30	192,40	314,50	66,60
	19/08	5,18	0,52	7,40		51,80	44,40	118,40	70,30	40,70
Langouste	24/07					4,07	4,07		16,28	5,18
Perroquet	16/09	0,26				0,56				
Chirurgien	16/09	0,37				0,67	0,37			
Mulet	18/07	0,30								
	16/09	0,22				1,26				
Bec de cane	17/07									
	16/09	0,63				0,67				
Carangue	08/07	0,78								
	16/09	0,30								
Mérou	11/07	0,33								
	16/09	0,30				1,37	0,63			
Rouget	25/07	0,41				5,92	4,44	12,95	12,95	4,44
	16/09									
Surmulet	25/07	0,41				3,33	2,48	8,51		2,85
	16/09									
Inaa	08/08	0,56				3,70	4,44			4,07
Ature	14/08	0,22				0,85	1,59	32,19		
Bonite	juillet 74	0,56	0,04				1,11	4,44		1,85
	août 74	0,67	0,04				1,11			
Thon	juillet 74	0,59	0,06					0,37		
	août 74	1,04	0,05				1,11	2,96		1,85
Papaye	09/09	1,44	0,12			0,59	0,30			
Mangue	09/09	0,33				0,96	0,63			
Uru	09/09	3,55		3,70		2,41	1,33			0,37
Ananas	09/09	0,74	0,04	3,70		0,37	0,33			
Eau de coco	09/09	2,15	0,01			0,37	0,33			
Coprah	09/09	0,37								
Aubergine	02/09	0,30	0,05							
Tomate	05/08	0,74		1,41	3,26	3,70	85,10		17,39	1,04
	02/09	0,56	0,04			0,15	0,11			
Choux	05/08	1,00	0,09	0,25		1,48	1,37	7,40	3,59	0,85
	16/08	2,96	0,71	4,59		1,92	0,52	5,92	9,62	1,00
Poireaux	05/08		0,44	23,68		240,50	218,30	214,60	629,00	255,30
	20/08			3,22		34,04	22,20	14,06	34,78	24,42
Fafa	16/08			4,70		29,23	48,10	35,52	44,40	25,53
Salade	05/08		0,17	4,66		17,76	15,54	21,83	51,80	17,76
	16/08	0,93	0,25	5,29		16,28	8,88	17,02	27,38	13,32
Patate douce	09/09	7,77								
Navet	03/09	6,66	0,52	0,52						
Taro	09/09	0,41	0,11							
Tarua	09/09	7,40	0,12							

Tableau 44 : Activités dans des produits du marché de Taravao (Bq.kg⁻¹)

XI.3 - COEFFICIENTS DE DOSE

	période	Cd dépôt (Sv/h)/(Bq/m ²)	Coefficient dose efficace - inhalation (Sv/Bq)					
			bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
C14 aérosols	5.73E3 a	5.80E-17	1.90E-08	1.70E-08	1.10E-08	7.40E-09	6.40E-09	5.80E-09
Br83	2.39 h	2.93E-14	3.50E-10	2.30E-10	1.10E-10	7.70E-11	5.90E-11	4.80E-11
Rb88	0.297 h	2.14E-12	1.90E-10	1.20E-10	5.20E-11	3.20E-11	1.90E-11	1.60E-11
Sr91	9.50 h	3.52E-12	3.10E-09	2.20E-09	1.10E-09	6.90E-10	4.40E-10	3.70E-10
Sr92	2.71 h	4.50E-12	1.90E-09	1.40E-09	6.50E-10	4.10E-10	2.50E-10	2.10E-10
Y91 m	0.828 h	1.88E-12	7.40E-11	5.90E-11	3.10E-11	2.00E-11	1.40E-11	1.10E-11
Y92	3.54 h	9.11E-13	1.90E-09	1.20E-09	5.50E-10	3.50E-10	2.10E-10	1.80E-10
Y93	10.1 h	3.28E-13	4.60E-09	3.00E-09	1.40E-09	8.50E-10	5.00E-10	4.20E-10
Zr97	16.9 h	3.05E-12	7.80E-09	5.30E-09	2.80E-09	1.80E-09	1.10E-09	9.20E-10
Nb97	1.20 h	2.32E-12	3.70E-10	2.50E-10	1.20E-10	7.70E-11	5.20E-11	4.30E-11
Mo99	2.75 j	5.29E-13	6.00E-09	4.40E-09	2.20E-09	1.50E-09	1.10E-09	8.90E-10
Tc99 m	6.02 h	4.36E-13	1.30E-10	9.90E-11	5.10E-11	3.40E-11	2.40E-11	1.90E-11
Ru103	39.3 j	1.67E-12	1.10E-08	8.40E-09	5.00E-09	3.50E-09	3.00E-09	2.40E-09
Ru105	4.44 h	2.77E-12	1.30E-09	9.20E-10	4.50E-10	3.00E-10	2.00E-10	1.70E-10
Rh105	1.47 j	2.74E-13	2.40E-09	1.70E-09	8.00E-10	5.60E-10	4.50E-10	3.50E-10
Rh103 m	0.935 h	4.50E-15	2.00E-11	1.30E-11	6.70E-12	4.30E-12	3.20E-12	2.70E-12
Pd109	13.4 h	4.03E-14	2.70E-09	1.90E-09	9.30E-10	6.30E-10	4.60E-10	3.70E-10
Ag112	3.12 h	2.28E-12	9.80E-10	6.40E-10	2.80E-10	1.70E-10	9.10E-11	7.60E-11
Sb129	0.173 h	6.98E-12	2.00E-09	1.40E-09	6.80E-10	4.40E-10	2.90E-10	2.30E-10
Te129	1.16 h	2.16E-13	3.30E-10	2.20E-10	9.90E-11	6.50E-11	4.40E-11	3.70E-11
Te131	0.417 h	1.48E-12	2.60E-10	1.70E-10	8.10E-11	5.20E-11	3.50E-11	2.80E-11
Te131 m	1.25 j	5.26E-12	7.90E-09	5.80E-09	3.00E-09	1.90E-09	1.20E-09	9.40E-10
Te132	3.26 j	8.78E-12	1.60E-08	1.30E-08	6.40E-09	4.00E-09	2.60E-09	2.00E-09
I131 vapeur	8.04 j	1.35E-12	1.70E-07	1.60E-07	9.40E-08	4.80E-08	3.10E-08	2.00E-08
I132 vapeur	2.30 h	7.96E-12	2.80E-09	2.30E-09	1.30E-09	6.40E-10	4.30E-10	3.10E-10
I133 vapeur	20.8 h	2.15E-12	4.50E-08	4.10E-08	2.10E-08	9.70E-09	6.30E-09	4.00E-09
I134 vapeur	0.876 h	9.11E-12	8.20E-09	6.90E-10	3.90E-10	2.20E-10	1.60E-10	1.50E-10
I135 vapeur	6.61 h	5.29E-12	9.70E-09	8.50E-09	4.50E-09	2.10E-09	1.40E-09	9.20E-10
Cs134	2.06 a	5.47E-12	1.10E-08	7.30E-09	5.20E-09	5.30E-09	6.30E-09	6.60E-09
Cs134m	2.90 h	9.32E-14	1.30E-10	8.60E-11	3.80E-11	2.50E-11	1.60E-11	1.40E-11
Cs135	2.30E6 a	1.20E-16	1.70E-09	9.90E-10	6.20E-10	6.10E-10	6.80E-10	6.90E-10
Cs135m	0.883 h	5.54E-12	9.20E-11	7.80E-11	4.10E-11	2.40E-11	1.50E-11	1.20E-11
Cs136	13.1 j	7.52E-12	7.30E-09	5.20E-09	2.90E-09	2.00E-09	1.40E-09	1.20E-09
Cs137	30.0 a	2.00E-12	8.80E-09	5.40E-09	3.60E-09	3.70E-09	4.40E-09	4.60E-09
Cs138	0.536 h	7.88E-12	2.60E-10	1.80E-10	8.10E-11	5.00E-11	2.90E-11	2.40E-11
Ba139	1.38 h	1.65E-13	5.40E-10	3.50E-10	1.60E-10	1.00E-10	6.60E-11	5.60E-11
Ba140	12.7 j	8.42E-12	2.70E-08	2.00E-08	1.10E-08	7.60E-09	6.20E-09	5.10E-09
La141	3.93 h	1.63E-13	1.40E-09	9.30E-10	4.30E-10	2.80E-10	1.80E-10	1.50E-10
La142	1.54 h	8.86E-12	8.10E-10	5.70E-10	2.70E-10	1.70E-10	1.10E-10	8.90E-11
Ce141	32.5 j	2.66E-13	1.40E-08	1.10E-08	6.30E-09	4.60E-09	4.10E-09	3.20E-09
Ce143	1.38 j	1.00E-12	5.60E-09	3.90E-09	1.90E-09	1.30E-09	9.30E-10	7.50E-10
Pr145	5.98 h	5.62E-14	1.60E-09	1.10E-09	4.90E-10	3.20E-10	2.00E-10	1.70E-10
Nd147	11.0 j	5.00E-13	1.20E-08	8.60E-09	4.90E-09	3.50E-09	3.00E-09	2.40E-09
Nd149	1.73 h	1.36E-12	7.10E-10	4.80E-10	2.30E-10	1.50E-10	1.10E-10	8.90E-11
Pm149	2.21 j	4.07E-14	5.30E-09	3.60E-09	1.80E-09	1.20E-09	9.00E-10	7.30E-10
Pm151	1.18 j	1.13E-12	3.40E-09	2.60E-09	1.30E-09	7.90E-10	5.70E-10	4.60E-10
Sm153	1.95 j	2.24E-13	4.20E-09	2.90E-09	1.50E-09	1.00E-09	7.90E-10	6.30E-10

	période	Cd dépôt (Sv/h)/(Bq/m ²)	Coefficient dose efficace - inhalation (Sv/Bq)					
			bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Sm156	9.40 h	4.21E-13	1.60E-09	1.10E-09	5.80E-10	3.50E-10	2.70E-10	2.20E-10
U237	6.75 j	4.79E-13	7.80E-09	5.70E-09	3.30E-09	2.40E-09	2.10E-09	1.70E-09
Np237	2.14E6 a	8.05E-13	4.40E-05	4.00E-05	2.80E-05	2.20E-05	2.20E-05	2.30E-05
Np239	2.36 j	5.87E-13	5.90E-09	4.20E-09	2.00E-09	1.40E-09	9.30E-10	9.30E-10
Pu238	87.7 a	3.02E-15	7.80E-05	7.40E-05	5.60E-05	4.40E-05	4.30E-05	4.60E-05
Pu239	2.41E4 a	1.32E-15	8.00E-05	7.70E-05	6.00E-05	4.80E-05	4.70E-05	5.00E-05
Pu240	6.54E3 a	2.89E-15	8.00E-05	7.70E-05	6.00E-05	4.80E-05	4.70E-05	5.00E-05
Pu241	14.4 a	1.87E-17	9.10E-07	9.70E-07	9.20E-07	8.30E-07	8.60E-07	9.00E-07
Pu242	3.76E5 a	2.40E-15	7.60E-05	7.30E-05	5.70E-05	4.50E-05	4.50E-05	4.80E-05
Am241	432 a	9.90E-14	7.30E-05	6.90E-05	5.10E-05	4.00E-05	4.00E-05	4.20E-05

Tableau 45 : Coefficients de dose efficace par inhalation

	Coefficient dose efficace - ingestion (Sv/Bq)					
	bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
C14 aérosols	1.40E-09	1.60E-09	9.90E-10	8.00E-10	5.70E-10	5.80E-10
Br83	5.30E-10	3.00E-10	1.40E-10	8.30E-11	5.50E-11	4.30E-11
Rb88	1.10E-09	6.20E-10	3.00E-10	1.70E-10	1.20E-10	9.00E-11
Sr91	5.20E-09	4.00E-09	2.10E-09	1.20E-09	7.40E-10	6.50E-10
Sr92	3.40E-09	2.70E-09	1.40E-09	8.20E-10	4.80E-10	4.30E-10
Y91 m	9.20E-11	6.00E-11	3.30E-11	2.10E-11	1.40E-11	1.10E-11
Y92	5.90E-09	3.60E-09	1.80E-09	1.00E-09	6.20E-10	4.90E-10
Y93	1.40E-08	8.50E-09	4.30E-09	2.50E-09	1.40E-09	1.20E-09
Zr97	2.20E-08	1.40E-08	7.30E-09	4.40E-09	2.60E-09	2.10E-09
Nb97	7.70E-10	4.50E-10	2.30E-10	1.30E-10	8.70E-11	6.80E-11
Mo99	5.50E-09	3.50E-09	1.80E-09	1.10E-09	7.60E-10	6.00E-10
Tc99 m	2.00E-10	1.30E-10	7.20E-11	4.30E-11	2.80E-11	2.20E-11
Ru103	7.10E-09	4.60E-09	2.40E-09	1.50E-09	9.20E-10	7.30E-10
Ru105	2.70E-09	1.80E-09	9.10E-10	5.50E-10	3.30E-10	2.60E-10
Rh105	4.00E-09	2.70E-09	1.30E-09	8.00E-10	4.60E-10	3.70E-10
Rh103 m	4.70E-11	2.70E-11	1.30E-11	7.40E-12	4.80E-12	3.80E-12
Pd109	6.30E-09	4.10E-09	2.00E-09	1.20E-09	6.80E-10	5.50E-10
Ag112	4.90E-09	3.00E-09	1.50E-09	8.90E-10	5.40E-10	4.30E-10
Sb129	4.30E-09	2.80E-09	1.50E-09	8.80E-10	5.30E-10	4.20E-10
Te129	7.50E-10	4.40E-10	2.10E-10	1.20E-10	8.00E-11	6.30E-11
Te131	9.00E-10	6.60E-10	3.50E-10	1.90E-10	1.20E-10	8.70E-11
Te131 m	2.00E-08	1.40E-08	7.80E-09	4.30E-09	2.70E-09	1.90E-09
Te132	4.80E-08	3.00E-08	1.60E-08	8.30E-09	5.30E-09	3.80E-09
I131 vapeur	1.80E-07	1.80E-07	1.00E-07	5.20E-08	3.40E-08	2.20E-08
I132 vapeur	3.00E-09	2.40E-09	1.30E-09	6.20E-10	4.10E-10	2.90E-10
I133 vapeur	4.90E-08	4.40E-08	2.30E-08	1.00E-08	6.80E-09	4.30E-09
I134 vapeur	1.10E-09	7.50E-10	3.90E-10	2.10E-10	1.40E-10	1.10E-10
I135 vapeur	1.00E-08	8.90E-09	4.70E-09	2.20E-09	1.40E-09	9.30E-10
Cs134	2.60E-08	1.60E-08	1.30E-08	1.40E-08	1.90E-08	1.90E-08
Cs134m	2.10E-10	1.20E-10	5.90E-11	3.50E-11	2.50E-11	2.00E-11
Cs135	4.10E-09	2.30E-09	1.70E-09	1.70E-09	2.00E-09	2.00E-09
Cs135m	1.30E-10	8.60E-11	4.90E-11	3.20E-11	2.30E-11	1.90E-11
Cs136	1.50E-08	9.50E-09	6.10E-09	4.40E-09	3.40E-09	3.00E-09
Cs137	2.10E-08	1.20E-08	9.60E-09	1.00E-08	1.30E-08	1.30E-08
Cs138	1.10E-09	5.90E-10	2.90E-10	1.70E-10	1.20E-10	9.20E-11
Ba139	1.40E-09	8.40E-10	4.10E-10	2.40E-10	1.50E-10	1.20E-10
Ba140	3.20E-08	1.80E-08	9.20E-09	5.80E-09	3.70E-09	2.60E-09
La141	4.30E-09	2.60E-09	1.30E-09	7.60E-10	4.50E-10	3.60E-10
La142	1.90E-09	1.10E-09	5.80E-10	3.50E-10	2.30E-10	1.80E-10

	Coefficient dose efficace - ingestion (Sv/Bq)					
	bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Ce141	8.10E-09	5.10E-09	2.60E-09	1.50E-09	8.80E-10	7.10E-10
Ce143	1.20E-08	8.00E-09	4.10E-09	2.40E-09	1.40E-09	1.10E-09
Pr145	4.70E-09	2.90E-09	1.40E-09	8.50E-10	4.90E-10	3.90E-10
Nd147	1.20E-08	7.80E-09	3.90E-09	2.30E-09	1.30E-09	1.10E-09
Nd149	1.40E-09	8.70E-10	4.30E-10	2.60E-10	1.60E-10	1.20E-10
Pm149	1.20E-08	7.40E-09	3.70E-09	2.20E-09	1.20E-09	9.90E-10
Pm151	8.00E-09	5.10E-09	2.60E-09	1.60E-09	9.10E-10	7.30E-10
Sm153	8.40E-09	5.40E-09	2.70E-09	1.60E-09	9.20E-10	7.40E-10
Sm156	2.80E-09	1.80E-09	9.00E-10	5.40E-10	3.1E-10	2.50E-10
U237	8.30E-09	5.40E-09	2.80E-09	1.60E-09	9.5E-10	7.60E-10
Np237	2.00E-06	2.10E-07	1.40E-07	1.10E-07	1.10E-07	1.10E-07
Np239	8.90E-09	5.70E-09	2.90E-09	1.70E-09	1.00E-09	8.00E-10
Pu238	4.00E-06	4.00E-07	3.10E-07	2.40E-07	2.20E-07	2.30E-07
Pu239	4.20E-06	4.20E-07	3.30E-07	2.70E-07	2.40E-07	2.50E-07
Pu240	4.20E-06	4.20E-07	3.30E-07	2.70E-07	2.40E-07	2.50E-07
Pu241	5.60E-08	5.70E-09	5.50E-09	5.10E-09	4.80E-09	4.80E-09
Pu242	4.00E-06	4.00E-07	3.20E-07	2.60E-07	2.30E-07	2.40E-07
Am241	3.70E-06	3.70E-07	2.70E-07	2.20E-07	2.00E-07	2.00E-07

Tableau 46 : Coefficients de dose efficace par ingestion

	période	Cd dépôt (efficace) (Sv/h)/(Bq/m ²)	Coefficient dose inhalation - thyroïde (Sv/Bq)					
			bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Te119	0.383 h	6.34E-12						
Te121	17.0 j	2.05E-12						
Te121 m	154 j	7.56E-13	7.70E-09	5.70E-09	3.10E-09	1.60E-09	1.10E-09	8.70E-10
Te123	1.00E13 a	7.02E-14	1.00E-09	7.80E-10	4.50E-10	2.70E-10	2.20E-10	2.00E-10
Te123 m	120 j	5.15E-13	5.50E-09	3.90E-09	1.90E-09	8.90E-10	5.80E-10	4.10E-10
Te125 m	58.0 j	1.30E-13	4.40E-09	3.00E-09	1.40E-09	6.20E-10	3.90E-10	2.50E-10
Te127	9.35 h	1.86E-14	5.90E-11	3.40E-11	1.50E-11	7.10E-12	4.10E-12	2.80E-12
Te127 m	109 j	5.89E-14	1.40E-08	9.80E-09	4.70E-09	2.00E-09	1.30E-09	8.60E-10
Te129	1.16 h	2.16E-13	4.50E-12	2.80E-12	1.30E-12	7.40E-13	4.40E-13	3.50E-13
Te129 m	33.6 j	2.77E-13	1.90E-08	1.20E-08	5.70E-09	2.50E-09	1.50E-09	1.00E-09
Te131	0.417 h	1.48E-12	6.80E-10	4.60E-10	2.40E-10	1.20E-10	7.30E-11	4.80E-11
Te131 m	1.25 j	5.26E-12	3.70E-08	2.50E-08	1.30E-08	6.60E-09	4.10E-09	2.70E-09
Te132	3.26 j	8.78E-12	8.70E-08	5.30E-08	2.40E-08	1.10E-08	6.60E-09	4.30E-09
Te133	0.207 h	3.22E-12	7.30E-10	4.50E-10	2.10E-10	9.40E-11	5.00E-11	3.60E-11
Te133 m	0.923 h	8.41E-12	3.30E-09	2.00E-09	9.40E-10	4.20E-10	2.50E-10	1.60E-10
Te134	0.696 h	3.12E-12	3.80E-10	2.80E-10	1.30E-10	6.10E-11	3.80E-11	2.60E-11
I121	2.12 h	1.47E-12	3.80E-09	8.40E-09	4.90E-09	2.60E-09	1.80E-09	1.20E-09
I123	13.2 h	5.98E-13	3.90E-08	3.50E-08	1.90E-08	8.60E-09	5.70E-09	3.70E-09
I125	60.1 j	1.54E-13	9.30E-07	1.00E-06	7.50E-07	5.60E-07	4.00E-07	2.70E-07
I128	0.416 h	3.16E-13	1.90E-09	1.70E-09	8.60E-10	3.70E-10	2.40E-10	1.50E-10
I129	1.57E7 a	9.29E-14	3.30E-06	3.90E-06	3.10E-06	3.40E-06	2.50E-06	1.90E-06
I130	12.4 h	7.56E-12	3.60E-07	3.30E-07	1.70E-07	8.00E-08	5.20E-08	3.30E-08
I131	8.04 j	1.35E-12	3.30E-06	3.20E-06	1.90E-06	1.10E-07	6.20E-07	3.90E-07
I132	2.30 h	7.96E-12	4.30E-08	3.80E-08	2.00E-08	8.90E-09	5.80E-09	3.60E-09
I132 m	1.39 h	1.13E-12	3.90E-08	3.50E-08	1.80E-08	8.20E-09	5.30E-09	1.30E-09
I133	20.8 h	2.15E-12	8.90E-07	8.00E-07	4.20E-07	1.90E-07	1.20E-07	7.60E-08
I134	0.876 h	9.11E-12	8.20E-09	7.30E-09	3.80E-09	1.70E-09	1.10E-09	7.00E-10
I135	6.61 h	5.29E-12	1.80E-07	1.60E-07	8.00E-09	3.80E-08	2.40E-08	1.50E-08

Tableau 47 : Coefficients de dose à la thyroïde par inhalation

	Coefficient dose ingestion - thyroïde (Sv/Bq)					
	bébé	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Te121	3.80E-09	1.70E-09	9.70E-10	5.30E-10	3.80E-10	2.80E-10
Te121 m	3.00E-08	1.30E-08	7.30E-09	3.60E-09	2.50E-09	1.80E-09
Te123	4.00E-09	1.80E-09	1.10E-09	7.10E-10	5.80E-10	4.90E-10
Te123 m	2.70E-08	1.20E-08	6.40E-09	2.90E-09	1.90E-09	1.20E-09
Te125 m	2.50E-08	1.10E-08	5.80E-09	2.60E-09	1.60E-09	1.00E-09
Te127	4.50E-10	1.70E-10	8.90E-11	4.10E-11	2.60E-11	1.70E-11
Te127 m	7.60E-08	3.40E-08	1.80E-08	7.70E-09	4.90E-09	3.10E-09
Te129	2.40E-11	6.30E-12	3.10E-12	1.70E-12	1.00E-12	7.50E-13
Te129 m	1.10E-07	5.10E-08	2.60E-08	1.10E-08	7.40E-09	4.60E-09
Te131	7.60E-09	7.30E-09	4.30E-09	2.10E-09	1.40E-09	8.90E-10
Te131 m	2.60E-07	1.50E-07	8.90E-08	4.50E-08	2.90E-08	1.80E-08
Te132	6.50E-07	3.20E-07	1.70E-07	7.50E-08	1.49E-07	3.10E-08
Te133	9.50E-09	8.50E-09	4.50E-09	2.00E-09	1.30E-09	8.10E-10
Te133 m	3.90E-08	3.40E-08	1.80E-08	8.00E-09	5.10E-09	3.20E-09
Te134	6.30E-09	5.50E-09	2.90E-09	1.30E-09	8.30E-10	5.20E-10
I121	8.80E-09	8.30E-09	4.90E-09	2.60E-09	1.80E-09	1.20E-09
I123	4.10E-08	3.70E-08	2.00E-08	9.20E-09	6.10E-09	3.90E-09
I125	1.00E-06	1.10E-06	8.20E-07	6.20E-07	4.40E-07	3.00E-07
I128	1.10E-09	1.00E-09	5.10E-10	2.20E-10	1.40E-10	8.90E-11
I129	3.70E-06	4.30E-06	3.40E-06	3.80E-06	2.80E-06	2.10E-06
I130	3.90E-07	3.50E-07	1.90E-07	8.50E-08	5.60E-08	3.60E-08
I131	3.70E-06	3.60E-06	2.10E-06	1.00E-06	6.80E-07	4.30E-07
I132	4.00E-08	3.50E-08	1.90E-08	8.30E-09	5.40E-09	3.40E-09
I132 m	3.80E-08	3.40E-08	1.80E-08	8.00E-09	5.20E-09	3.30E-09
I133	9.60E-07	8.60E-07	4.60E-07	2.00E-07	1.30E-07	8.20E-08
I134	6.30E-09	5.60E-09	2.90E-09	1.30E-09	8.50E-10	5.40E-10
I135	1.90E-07	1.70E-07	8.70E-08	3.90E-08	2.50E-08	1.60E-08

Tableau 48 : Coefficients de dose à la thyroïde par ingestion

XII - REFERENCES

- 1 Base de données JEFF - Joint Evaluation Fission and Fusion File – AEN – février 2005
- 2 Arrêté du 01/09/2003 pour le calcul des doses efficaces définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.
- 3 Directive Euratom 96-29 - Nouvelle directive fixant les normes de base n°96/29/Euratom du 13/05/96 – Journal Officiel de la Communauté Européenne L159 du 29 juin 1996.
- 4 CIPR 71: Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4. Inhalation dose coefficients; Volume 25, n° 3-4, 1995 / CIPR 72: Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients.
- 5 ICRP Publication 66: Human respiratory tract model for radiological protection - 1993
- 6 External Exposure to Radionuclides in air, water and soil - Federal Guidance Report N° 12, 1993.
- 7 Geomechanical and radiological impact of nuclear tests at Mururoa and Fangataufa (French Polynesia). Document n°13, Radiological Consequences of the atmospheric tests on the Islands of French Polynesia from 1966 to 1994. G. Bourges, April 1997.
- 8 Décret du 4 avril 2002 relatif à la protection des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants. Journal Officiel du 6 avril 2002.