



Dossier d'étude Technique

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

<u>IDENTITE DU DOCUMENT</u>		
1 - <u>Nature</u>	2 - <u>Date</u>	3 - <u>Nbre de pages</u>
Dossier d'Etude Technique	13/07/06	39
4 - <u>Titre</u> : Calcul de l'impact dosimétrique des retombées de l'essai PHOEBE sur les îles Gambier		
<p>5 - <u>Résumé</u> : Ce document présente les calculs d'impact dosimétrique sur la population des îles Gambier des retombées de l'essai atmosphérique PHOEBE, réalisé le 8 août 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).</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 lors du passage du panache, 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 $0,05 \text{ m.s}^{-1}$.</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 0,2 à 2,6 mSv pour un adulte et de 0,5 à 7,9 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.</p> <p>Les doses à la thyroïde reçues par la population des îles Gambier varient de 1,4 à 27 mSv pour un adulte et de 4,9 à 98 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.</p> <p>La principale contribution aux doses efficaces et à la thyroïde est la consommation d'eau. Les doses maximales sont obtenues à Taku, et correspondent à la consommation des eaux du puits communal.</p>		
6 - <u>Descripteurs proposés</u>		
Essai nucléaire atmosphérique, impact radiologique, PHOEBE		

Calcul de l'impact dosimétrique des retombées de l'essai PHOEBE 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.....	9
III.2.1 - Coefficients de dose	9
III.2.2 - Ration alimentaire	10
IV - DONNEES METEOROLOGIQUES.....	12
V - TERME SOURCE.....	12
V.1 - ACTIVITES EMISES	12
V.2 - ISOTOPES PREPONDERANTS LORS DE L'ARRIVEE AUX GAMBIE	12
VI - BILAN DES MESURES ENVIRONNEMENT	13
VI.1 - MESURES "PHYSIQUES"	13
VI.1.1 - Activités dans l'air – débits de dose externes	13
VI.1.2 - Dépôts.....	14
VI.1.3 - Eaux de boisson	14
VI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX BIOLOGIQUES	15
VI.2.1 - Poissons	15
VI.2.2 - Viande.....	15
VI.2.3 - Végétaux.....	15
VI.2.4 - Mollusques.....	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.....	18
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.....	20
VII.3.2 - Dose due à la consommation de végétaux.....	21
VII.3.3 - Dose due à la consommation de produits animaux.....	23
VIII - BILAN DES DOSES ESTIMEES	24
IX - COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS.....	25
X - CONCLUSION	30
XI - ANNEXE : DONNEES DE CALCUL.....	31
XI.1 - ISOTOPES MAJORITAIRES DANS LE TERME SOURCE.....	31
XI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX.....	32
XI.2.1 - <i>Activité dans les eaux</i>	32
XI.2.2 - <i>Activité dans les aliments</i>	33
XI.3 - COEFFICIENTS DE DOSE.....	35
XII - REFERENCES.....	39

Liste des figures

Figure 1 : Carte des Iles Gambier.....	13
Figure 2 : Evolution de la dose due au dépôt (mSv) en fonction du temps de présence pour un dépôt de $5,18 \cdot 10^6$ Bq.m ⁻² en supposant un taux de présence des 2/3 à l'extérieur.....	19
Figure 3 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les enfants âgés de 1 à 2 ans – consommation d'eau peu contaminée	26
Figure 4 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les enfants âgés de 1 à 2 ans – consommation d'eau très contaminée	26
Figure 5 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les adultes – consommation d'eau peu contaminée	27
Figure 6 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les adultes – consommation d'eau très contaminée	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 d'eau peu contaminée	28
Figure 8 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour les enfants de 1 à 2 ans – consommation d'eau très contaminée	28
Figure 9 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde pour les adultes – consommation d'eau peu contaminée	29
Figure 10 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde pour les adultes – consommation d'eau très contaminée	29

Liste des tableaux

Tableau 1 : Débits respiratoires utilisés pour les différentes classes d'âge ($m^3.s^{-1}$)	9
Tableau 2 : Ration alimentaire prise en compte dans cette étude pour les adultes ($g.j^{-1}$)	11
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)	18
Tableau 5 : Dose efficace par irradiation par le panache (mSv)	18
Tableau 6 : Evolution de la dose efficace par irradiation due aux dépôts en fonction du temps d'exposition	19
Tableau 7 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau pendant 1 mois	20
Tableau 8 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation d'eau pendant 1 mois	21
Tableau 9 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de végétaux	22
Tableau 10 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de végétaux	22
Tableau 11 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de mollusques	23
Tableau 12 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de mollusques	23
Tableau 13 : Synthèse des doses efficaces (mSv)	24
Tableau 14 : Synthèse des doses internes à la thyroïde (mSv)	24
Tableau 15 : Produits de fission présents dans le nuage et le dépôt (hors gaz rares) à T+6h30	31
Tableau 16 : Activité de l'eau prélevée dans des citernes de Taku ou dans le puits communal ($Bq.l^{-1}$)	32
Tableau 17 : Activité de l'eau prélevée à Rikitea ($Bq.l^{-1}$)	33
Tableau 18 : Activité en ^{131}I dans des aliments prélevés aux îles Gambier ($Bq.kg^{-1}$)	33
Tableau 19 : Activité des radionucléides dans des aliments des îles Gambier ($Bq.kg^{-1}$)	34
Tableau 20 : Coefficients de dose efficace par irradiation due au dépôt et par inhalation	36
Tableau 21 : Coefficients de dose efficace par ingestion	37
Tableau 22 : Coefficients de dose à la thyroïde par inhalation	37
Tableau 23 : Coefficients de dose à la thyroïde par ingestion	38

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 PHOEBE, réalisé le 8 août 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 PHOEBE, d'une énergie de 4 kt, a été réalisé le 8 août 1971 à 18h30 TU (09h30 V) ; il s'agissait d'un tir sous ballon, à partir de la zone Denise de Mururoa. Les coordonnées géographiques du point "zéro" sont 21°47'10" Sud et 138°53'33" W, à 600 m du Poste Enregistrement Avancé (PEA) Denise. L'altitude du tir était de 230 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 ou en ^{131}I , dans certains produits présents dans la ration alimentaire, notamment dans de l'eau de boisson prélevée à Taku et Rikitea, ainsi que d'une mesure de dépôt à Totegegie.

Le dépôt mesuré et les données dans les échantillons disponibles ont servi aux calculs de doses efficaces par irradiation externe, inhalation et 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.

On dispose d'une seule mesure de dépôts au sol, $5,18 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$, à Totegegie. Elle servira au calcul de doses par irradiation externe et par inhalation pour l'ensemble des Gambier.

Comme les résultats de mesures sont exprimés en β global ou en ^{131}I , 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 6h30 heures de décroissance, délai correspondant au maximum de la première retombée observée aux îles Gambier, 70 isotopes contribuent majoritairement à l'activité globale. La liste des isotopes majoritaires en termes d'activité dans le dépôt et dans l'air figure dans le Tableau 15 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 : $5 \cdot 10^{-2}$ et $2 \cdot 10^{-1} \text{ m.s}^{-1}$. 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 aux îles Gambier (moins de 10 heures après l'essai).

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_j , 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, $CD_{\text{inhal } i,j}$, 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 :

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

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.

Dans le calcul de la dose due à l'inhalation des aérosols, on prend en compte le fait que les habitants de Rikitea et de Taku ont été mis à l'abri pendant le passage du panache, de H+4h30 à H+21h30. L'activité volumique à l'intérieur est supposée égale à un dixième de l'activité volumique à l'extérieur. Cette hypothèse est majorante ; en effet, les abris étaient pourvus de dispositifs de protection vis-à-vis des aérosols. Les concentrations à l'intérieur étaient donc probablement encore plus faibles.

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 :

$$\text{Dose externe panache} = \sum_i (\text{Act vol intégrée}_i * CD_{\text{pch } i})$$

Comme indiqué précédemment, les rapports entre les activités des gaz rares dans le panache à l'extérieur et celles des autres isotopes du terme source sont identiques à ceux calculés à partir de l'évolution dans le temps du terme source.

Dans le calcul de la dose due à l'irradiation externe par le panache, on prend en compte le fait que les habitants de Rikitea et de Taku ont été mis à l'abri pendant le passage du panache. La mise à l'abri a été effective de H+4h30 à H+21h30, c'est-à-dire durant la totalité du passage du panache sur

les îles Gambier. Les abris constituent une protection contre les rayonnements ; on suppose qu'ils conduisent à une atténuation de 50% de la dose par irradiation externe par le 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 λ_{rad_i} . Cette dose évolue au cours du temps, selon la durée de présence T de l'individu considéré sur le dépôt. Elle 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 ont été mis à l'abri lors du passage du panache sur les îles Gambier.

On a ainsi supposé que la dose due au dépôt était nulle pendant la première journée, car les personnes étaient à l'intérieur des abris pendant le passage du panache. Par la suite, les personnes passent 2/3 du temps à l'extérieur et sont donc soumises à l'irradiation par les dépôts.

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 et 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 mesurées dans les aliments d'origine locale. La répartition des activités des isotopes dans les différents aliments aux différents instants 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 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 20 et le Tableau 21, de la page 35 à la page 37.

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 l'inhalation d'aérosols, 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 22 et le Tableau 23, pages 37 et 38.

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.2.1.2 - 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 20, pages 35 et 36.

Dans les calculs de dose par irradiation externe par le panache et les dépôts présentés dans cette étude, on prend en compte le fait que les personnes étaient dans les abris pendant le passage du panache.

III.2.2 - 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		380
	bonite		
	ature		
	inaa		
	poissons haute mer	80	
	poissons lagon	300	
viandes	poulet	40	80
	porc	40	
	bœuf		
	chien		
mollusques	turbo	15	60
	bénitier	30	
	poulpe		
	autres mollusques	15	
crustacés	chevrettes		40
	langouste	40	
coprah		150	150
fruits plantes arborescentes	banane	100	300
	papaye	50	
	citron		
	mangue		
	avocat		
	pamplemousse		
	uru	100	
autres fruits	50		
fruits plantes herbacées	ananas		100
	tomates	40	
	concombre	40	
	aubergine		
	autres fruits	20	
légumes feuilles	salade	30	70
	chou	10	
	poireau		
	fafa	30	
	autres légumes		

racines et tubercules	taro	70	240
	patate douce	70	
	tarua		
	navet		
	carotte		
	manioc autres	100	
	total origine locale		1420

Tableau 2 : Ration alimentaire prise en compte dans cette étude pour les adultes ($g.j^{-1}$)

IV - DONNEES METEOROLOGIQUES

Au moment du tir PHOEBE, le ciel était couvert, les vents modérés, la visibilité supérieure à 15 km. Au sol, les vents venaient du sud-est (direction de 135°), avec une vitesse de l'ordre de 5 m.s⁻¹ (15 nœuds).

A partir de 1500 m, les vents venaient de l'ouest ; la vitesse du vent était comprise entre 20 et 25 m.s⁻¹ entre 2000 et 2500 m.

Des petites averses se sont produites pendant la retombée aux îles Gambier. Par la suite, dans la nuit du 15 au 16 août, 7 jours après l'essai PHOEBE, une pluie de 12,7 mm est tombée sur les 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 ⁹⁷Sr, ⁹⁶Sr, ¹⁰³Nb, ⁹⁸Y, ⁹⁹Zr, ²⁸In, ¹⁰²Nb ..., isotopes de périodes très courtes (inférieures à quelques secondes) et qui ne sont plus présents dans le panache lors de l'arrivée aux îles Gambier.

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 lors de l'arrivée du panache aux Gambier.

Lors de la retombée aux îles Gambier, les isotopes majoritaires en terme d'activité sont ¹³⁵I, ¹⁴¹La, ¹⁰⁵Ru, ⁹²Y, ¹³⁵Xe ... qui correspondent chacun à plus de 5% de l'activité globale à T+6h30 (cf. Tableau 15, page 31).

Au moment de la retombée aux îles Gambier, l'isotope ¹³⁵I contribue à 7,3% de l'activité totale.

VI - BILAN DES MESURES ENVIRONNEMENT

La Figure 1 présente une carte des îles Gambier.

VI.1 - MESURES "PHYSIQUES"

VI.1.1 - ACTIVITES DANS L'AIR – DEBITS DE DOSE EXTERNES

Une première retombée a été constatée aux îles Gambier entre H+6h10 et H+6h40. Une deuxième retombée a été détectée vers H+11h30.

Lors de la première retombée, le débit de dose maximal était de $50 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ($5 \text{ mrad}\cdot\text{h}^{-1}$) pendant une très courte période ; il était dû en partie à l'irradiation externe par le panache et les dépôts. Pendant la deuxième retombée, le débit de dose était de l'ordre de $30 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ($3 \text{ mrad}\cdot\text{h}^{-1}$). Ce débit de dose n'était plus détectable à partir de H+13h30.

On ne dispose que de peu de mesures de l'activité dans l'environnement après l'essai PHOEBE ; l'activité dans l'air maximale est de l'ordre de $6 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ($160 \text{ pCi}\cdot\text{m}^{-3}$), à Totegegile, à H+6h30. A cet instant, le débit de dose était de $14 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ($1,4 \text{ mrad}\cdot\text{h}^{-1}$).

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 à Totegegile à l'aide des vitesses de dépôt.

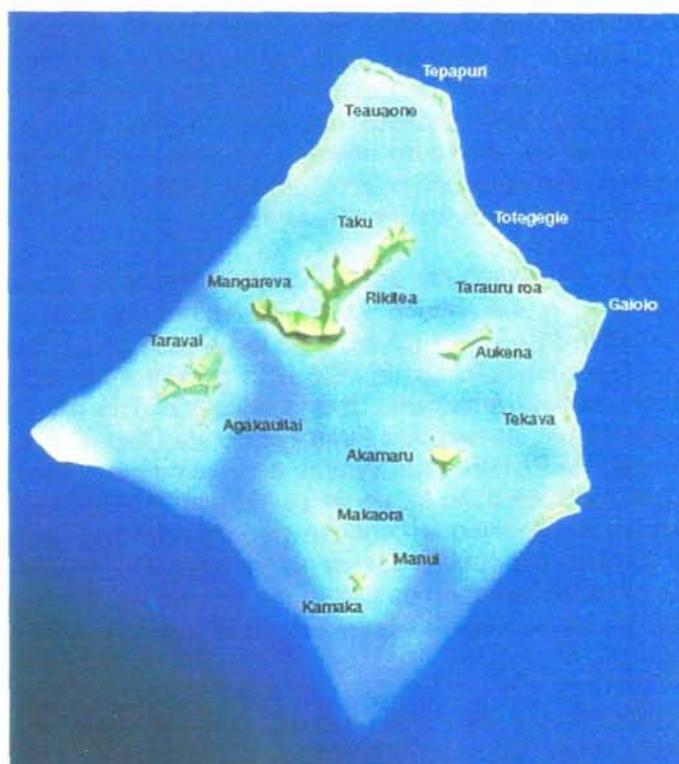


Figure 1 : Carte des Iles Gambier

VI.1.2 - DEPOTS

Le dépôt était de $5,18 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$ ($1,4 \cdot 10^8 \text{ pCi.m}^{-2}$), à Totegegie¹, à H+6h30.

Ne disposant pas d'autre mesure de dépôt, cette valeur sera appliquée à l'ensemble des points d'impact étudiés sur les îles Gambier, notamment à Rikitea et à Taku.

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 $1,5 \cdot 2 \cdot 0,5 \text{ m}$, 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'amenée 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 m^3 , qui alimentent séparément deux bornes fontaines."

¹ Il s'agit de l'emplacement de l'actuel aéroport, sur le bord de l'île.

A Taku, l'alimentation en eau de boisson du village se réalise autant par des citernes recueillant l'eau des farés que par le puits communal. Des mesures ont été effectuées au niveau du réservoir et au niveau de l'un des robinets de distribution.

Les résultats de mesures dans l'eau des citernes de Taku figurent dans le Tableau 16, page 32. Les résultats de mesure dans le réservoir et l'eau de robinet prélevée à Rikitea figurent dans le Tableau 17, page 33.

On peut constater que l'eau de citerne prélevée à Taku est beaucoup plus contaminée que l'eau de Rikitea, d'un facteur pouvant être supérieur à 1000.

La pluie survenue lors de la nuit du 15 au 16 août a conduit à une diminution de l'activité de l'eau dans les citernes de Taku, plus rapide que celle induite uniquement par la décroissance radiologique (cf. Tableau 16). Cette diminution de l'activité de l'eau n'est pas observable à Rikitea ; au contraire, on observe une augmentation de l'activité mesurée dans de l'eau de robinet entre le 10 et le 18 août, probablement due à un apport d'activité suite au ruissellement dû aux précipitations (cf. Tableau 17).

VI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX BIOLOGIQUES

Les mesures dans les milieux biologiques sont limitées ; elles sont indiquées dans le Tableau 18 et le Tableau 19, en annexe, pages 33 et 34. Le Tableau 18 présente les activités en ^{131}I dans des végétaux et mollusques prélevés en août 1971. Le Tableau 19 présente des résultats de mesures exprimés en β global ainsi qu'en ^{131}I dans différents aliments. Les résultats sont présentés aux dates de mesure.

VI.2.1 - POISSONS

Aucun isotope de l'iode n'a été détecté dans les poissons prélevés fin août (cf. Tableau 18). De même, aucune activité en iode dans des bonites capturées à la traîne le 26 août ou dans des poissons de longue ligne capturés par le BRO "La Coquille" les 17 et 18 août au voisinage des îles Gambier n'a été mise en évidence.

VI.2.2 - VIANDE

On ne dispose pas de mesures d'activités dans la viande. Un échantillon de viande de poulet prélevé le 28 août et mesuré le 8 septembre ne présentait pas de trace d'iode ou de tellure (cf. Tableau 18).

VI.2.3 - VEGETAUX

L'activité dans de la salade non lavée, prélevée le 10 août et mesurée le 12 août, est de $4,5 \cdot 10^5$ Bq.kg⁻¹ en β global. L'activité maximale est de $1,4 \cdot 10^4$ Bq.kg⁻¹ en ^{131}I dans du fafa cuit prélevé le 10 août et mesuré le 12 août. L'activité maximale dans une salade, prélevée le 10 août et mesurée le 16 août, est de 2500 Bq.kg⁻¹ en ^{131}I .

L'activité en ^{131}I dans des légumes racines (taro) ou dans les fruits (banane) prélevés en août 1971 n'est pas détectable.

VI.2.4 - MOLLUSQUES

L'activité β global dans un bénitier prélevé le 11 août et mesuré le 25 août est de l'ordre de 950 Bq.kg^{-1} . Dans cet échantillon, l'activité en ^{131}I est de 183 Bq.kg^{-1} .

VII - CALCULS DE DOSES

Dans les calculs, on prend en compte le fait que le panache est arrivé à H+6h30 aux îles Gambier.

Aux îles Gambier, les habitants de Rikitea et Taku sont sortis des abris, un jour après le tir. On peut dater le début de l'exposition à cette date.

Les habitants de Taku ont été regroupés à Rikitea du 13 août au soir au 16 août au matin, pendant l'essai RHEA. Pendant cette période, ils ont donc consommé les mêmes aliments, notamment l'eau, que les habitants de Rikitea. Les habitants n'ont toutefois pas été mis à l'abri du 13 août au soir au 16 août au matin ; ils ont donc été soumis à une dose supplémentaire par irradiation et par inhalation. Pendant l'essai RHEA, le débit de dose maximal aux îles Gambier était de $1,9 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ($190 \mu\text{rad}\cdot\text{h}^{-1}$), c'est-à-dire environ 10 à 20 fois plus faible que les valeurs relevées suite à l'essai PHOEBE. Par ailleurs, il faut noter qu'on n'observe pas d'augmentation d'activité dans l'eau de boisson pendant cette période.

La contribution à l'exposition radiologique de l'essai RHEA est donc négligeable devant celle due à PHOEBE.

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 $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 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 $2 \cdot 10^{-1} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 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 la seule mesure de dépôt disponible, c'est-à-dire $5,18 \cdot 10^6 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}$.

On suppose que l'activité à l'intérieur des abris est le dixième de l'activité volumique à l'extérieur.

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 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$2 \cdot 10^{-1}$	Dose tous isotopes	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$
	$5 \cdot 10^{-2}$	Dose tous isotopes	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$

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

La dose efficace la plus élevée, de l'ordre de $3 \cdot 10^{-3} \text{ mSv}$, est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans et en prenant en compte une vitesse de dépôt de $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 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 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		$3,31 \cdot 10^{-5}$	$5,97 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^{-4}$	
Vitesse de dépôt ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	$2 \cdot 10^{-1}$	Dose tous isotopes	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-3}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$
	$5 \cdot 10^{-2}$	Dose tous isotopes	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$

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 0,04 mSv, est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans et en prenant en compte une vitesse de dépôt de $5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 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 présent dans les abris pendant le passage du panache.

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 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$)	$5,18 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$	
Vitesse de dépôt ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Dose tous isotopes (mSv)	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,002

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

La dose due à l'irradiation externe par le panache est au plus de $2 \cdot 10^{-3} \text{ mSv}$, en supposant que les abris apportent un coefficient de protection de 0,5 vis-à-vis des rayonnements.

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.

Le débit de dose calculé à H+6h30 est d'environ $13 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$. Cette valeur calculée est cohérente avec les mesures, dont les résultats varient de 14 à $50 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$, à proximité du dépôt de $5,18 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-2}$.

Dépôt initial	$5,18 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$	Isotopes contribuant le plus à la dose
Temps présence	Dose dépôt (mSv)	
1 jour	0	^{135}I (21%), ^{132}Te (11,5%), ^{97}Zr (11%), ^{133}I (9%), ^{91}Sr (7,2%)
2 jours	0,02	^{135}I (17%), ^{132}Te (16%), ^{97}Zr (12%), ^{133}I (10%), ^{91}Sr (6,5%)
1 semaine	0,05	^{132}Te (24%), ^{135}I (12%), ^{140}Ba (10,5%), ^{97}Zr (9,3%), ^{133}I (9%)
2 semaines	0,07	^{132}Te (26%), ^{140}Ba (15%), ^{135}I (10%), ^{97}Zr (8%), ^{133}I (7,7%)
1 mois	0,09	^{132}Te (23%), ^{140}Ba (20%), ^{135}I (9,2%), ^{97}Zr (7%), ^{133}I (7%)
6 mois	0,11	^{140}Ba (22%), ^{132}Te (21%), ^{135}I (8%), ^{97}Zr (6%), ^{133}I (6%), ^{95}Zr (5,3%), ^{103}Ru (5%)

Tableau 6 : Evolution de la dose efficace par irradiation due aux dépôts en fonction du temps d'exposition

On suppose que la dose due au dépôt est nulle la première journée car les habitants étaient présents dans les abris. Par la suite, cette dose se stabilise à environ 0,11 mSv après 6 mois, en considérant une présence à l'extérieur les 2/3 du temps.

Evolution de la dose due au dépôt en fonction de la durée d'exposition

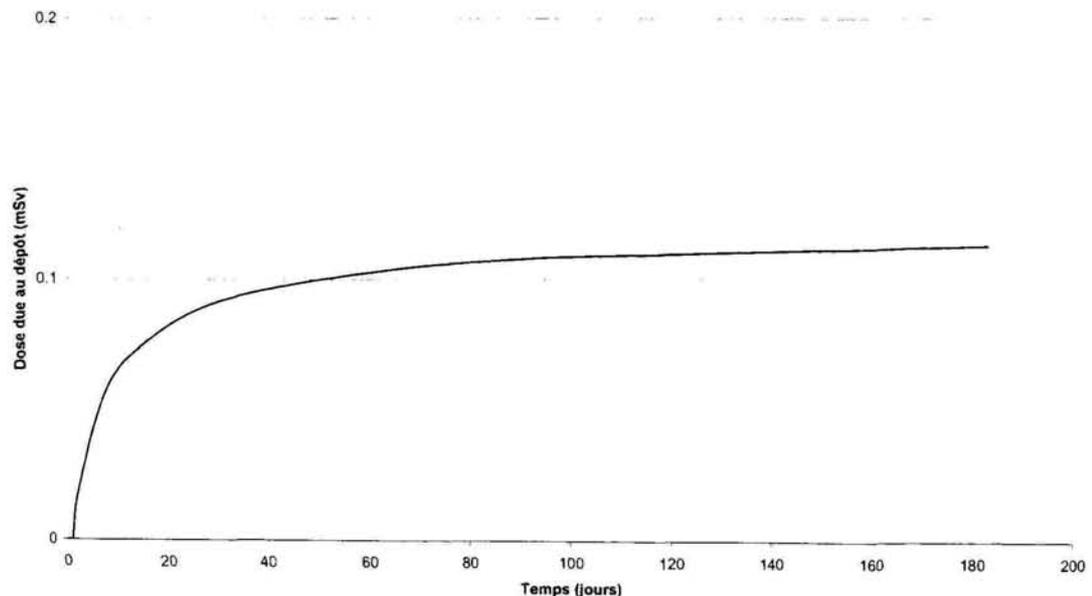


Figure 2 : Evolution de la dose due au dépôt (mSv) en fonction du temps de présence pour un dépôt de $5,18 \cdot 10^6 \text{ Bq.m}^{-2}$ en supposant un taux de présence des 2/3 à l'extérieur

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 10. 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

Dans les calculs de dose due à la consommation d'eau, la modification de concentration dans l'eau suite à la pluie du 15 août a été prise en compte. De plus, du 13 au 16 août, comme les habitants de Taku ont été regroupés à Rikitea, on prend en compte le fait qu'ils ont bu de l'eau de Rikitea, moins contaminée.

Deux calculs ont été réalisés :

- le premier concerne les habitants de Taku :
 - du 9 août au 13 août, consommation de l'eau de Taku, dont l'activité est calculée à partir de la mesure de $1,15 \cdot 10^3 \text{ Bq.l}^{-1}$ en ^{131}I le 18 août, sur une eau prélevée le 10 août dans le puits communal (cf. Tableau 16, page 32) ; l'activité β globale calculée le 9 août est de $2 \cdot 10^5 \text{ Bq.l}^{-1}$;
 - du 13 au 16 août, consommation de l'eau de robinet de Rikitea, dont l'activité est calculée à partir de la mesure de $0,74 \text{ Bq.l}^{-1}$ en ^{131}I le 11 août, c'est-à-dire $12,3 \text{ Bq.l}^{-1}$ en activité β globale calculée le 13 août ;
 - à partir du 16 août, consommation de l'eau de Taku, dont l'activité est calculée à partir de la mesure de 287 Bq.l^{-1} en ^{131}I le 21 août d'une eau prélevée le 17 août dans une citerne. L'activité β globale calculée le 16 août est de $6,5 \cdot 10^3 \text{ Bq.l}^{-1}$.
- le second concerne les habitants de Rikitea :
 - du 9 au 15 août, consommation d'eau de robinet de Rikitea, dont l'activité est calculée à partir de la mesure de $0,74 \text{ Bq.l}^{-1}$ en ^{131}I dans une eau prélevée le 10 août et mesurée le 11 août ; (cf. Tableau 17, page 33) ; l'activité β globale calculée le 9 août est de 77 Bq.l^{-1} ;
 - à partir du 16 août, consommation d'eau de robinet plus contaminée suite au ruissellement dû aux précipitations, à partir d'une mesure de $48,8 \text{ Bq.l}^{-1}$ en ^{131}I obtenue le 25 août sur une eau prélevée le 18 août. L'activité β globale calculée le 16 août est de 1450 Bq.l^{-1} .

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

La date de début de consommation est la date d'arrivée du panache aux Gambier, c'est-à-dire le 9 août. Sur les différentes périodes de consommation, l'activité évolue selon la décroissance radioactive.

Les consommations d'eau sont fonction de la classe d'âge ; on a supposé une consommation régulière pendant 16 heures par jour, pendant 1 mois.

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)	Taku	4,5	7,0	4,5	2,0	2,4	1,8
Dose totale (mSv)	Rikitea	0,24	0,37	0,23	0,17	0,13	0,10

Tableau 7 : Dose efficace (mSv) due à la consommation d'eau pendant 1 mois

Compte tenu des hypothèses de quantité d'eau consommée et de l'activité initiale, la dose efficace la plus élevée, de l'ordre de 7 mSv, est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans, qui a bu de l'eau pendant 1 mois.

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)	Taku	51,0	88,2	61,5	34,4	30,4	19,4
Dose totale (mSv)	Rikitea	2,3	4,3	3,1	1,8	1,6	1,0

Tableau 8 : 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, de l'ordre de 90 mSv, est calculée pour un enfant âgé de 1 à 2 ans, qui a bu de l'eau pendant 1 mois.

VII.3.2 - DOSE DUE A LA CONSOMMATION DE VEGETAUX

On rappelle qu'on ne dispose pas de mesure d'activité décelable dans les légumes racines et les fruits (cf. Tableau 18 et Tableau 19, page 33).

Plusieurs calculs ont été réalisés :

- pour évaluer la dose "maximale" reçue, on utilise les concentrations, exprimées en β global, mesurées sur des salades non lavées :
 - $4,5 \cdot 10^5$ Bq.kg⁻¹ le 12 août sur une salade prélevée le 10 août,
 - $1,17 \cdot 10^5$ Bq.kg⁻¹ le 16 août sur une salade prélevée le 10 août,
 - $1,08 \cdot 10^4$ Bq.kg⁻¹ le 2 septembre sur une salade prélevée le 23 août (cf. Tableau 19, page 34).

L'activité aux différents instants de consommation est calculée en supposant une décroissance radioactive entre la date de la mesure et la date de début de consommation, supposée égale à la date d'arrivée du panache aux îles Gambier.

L'activité au début de consommation est ainsi respectivement de $2,2 \cdot 10^6$, $1,3 \cdot 10^6$ et $4,1 \cdot 10^5$ Bq.kg⁻¹ le 9 août, soit en moyenne $1,3 \cdot 10^6$ Bq.kg⁻¹ le 9 août. Les résultats de dose présentés correspondent à une moyenne des doses reçues par consommation des trois salades décrites ci-dessus.

- pour évaluer une dose "minimale" reçue, on utilise l'activité mesurée le 12 août dans du chou prélevé le 10 août (437 Bq.kg⁻¹ en ¹³¹I – cf. Tableau 18, page 33) ; l'activité β globale est ainsi de $4,8 \cdot 10^4$ Bq.kg⁻¹ le 9 août, à la date de début de consommation, égale à la date d'arrivée du panache aux îles Gambier.

Les végétaux sont consommés pendant 1 mois à partir de la date de prélèvement ; leur activité évolue selon la décroissance radioactive.

La consommation de végétaux pour les différentes classes d'âge est présentée dans le Tableau 9. On a supposé que le nourrisson ne consomme pas de végétaux. 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 70 grammes par jour pour un adulte.

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

Classe d'âge	Aliment	nourrisso n	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j ⁻¹)		0	0,010	0,020	0,040	0,070	0,070
Dose (mSv)	Légumes feuilles	-	0,72	0,73	0,82	0,87	0,64
Dose (mSv)	Chou	-	2,8. 10 ⁻²	2,8. 10 ⁻²	3,2. 10 ⁻²	3,4. 10 ⁻²	2,5. 10 ⁻²

Tableau 9 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de végétaux

La dose efficace due à la consommation de légumes feuilles est au plus de l'ordre de 0,9 mSv, pour un enfant âgé de 12 à 17 ans, qui consomme autant qu'un adulte.

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	0,010	0,020	0,040	0,070	0,070
Dose (mSv)	Légumes feuilles	-	9,0	10,2	9,5	11,1	7,1
Dose (mSv)	Chou	-	0,34	0,39	0,36	0,42	0,27

Tableau 10 : 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 l'ordre de 11 mSv, pour un enfant âgé de 12 à 17 ans, qui consomme autant qu'un adulte.

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 et que les résultats d'activité en ^{131}I dans le poisson sont inférieurs à la limite de détection. Par ailleurs, la ration alimentaire (cf. Tableau 2, page 10) indique qu'il n'y a pas de consommation de lait produit localement. Seules quelques mesures de contamination de mollusques sont disponibles.

Deux calculs ont été effectués :

- un calcul de la dose maximale reçue a été effectué à partir de la mesure le 25 août dans un bénitier prélevé le 11 août (183 Bq.kg^{-1} en ^{131}I - cf. Tableau 18, page 33). L'activité a été ramenée à la date de début de consommation, supposée égale à la date de prélèvement, c'est-à-dire le 11 août ; elle est de $1,73. 10^4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en β global.
- un calcul de dose minimale reçue a été effectué à partir de la mesure le 25 août dans un turbo prélevé le 11 août ($55,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en ^{131}I - cf. Tableau 18, page 33). L'activité a été ramenée à la date de début de consommation, supposée égale à la date de prélèvement, c'est-à-dire le 11 août ; elle est de $5,28. 10^3 \text{ Bq.kg}^{-1}$ en β global.

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 bénitier ou le turbo 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. La ration alimentaire correspond à la somme des consommations de bénitiers et de turbos présentée dans le Tableau 2.

Dose efficace

Classe d'âge	Aliment	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06
Dose 1 mois (mSv)	Bénitier	-	$4,8. 10^{-2}$	$3,7. 10^{-2}$	$2,8. 10^{-2}$	$2,6. 10^{-2}$	$1,9. 10^{-2}$
Dose 1 mois (mSv)	Turbo	-	$1,5. 10^{-2}$	$1,1. 10^{-2}$	$8,6. 10^{-3}$	$7,8. 10^{-3}$	$5,8. 10^{-3}$

Tableau 11 : Dose efficace (mSv) due à la consommation de mollusques

La dose maximale est évaluée pour l'enfant âgé de 1 à 2 ans consommant du bénitier ; elle est au plus de l'ordre de 0,05 mSv.

Dose à la thyroïde

Classe d'âge	Aliment	nourrisson	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	Adulte
Conso (kg.j^{-1})		0	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06
Dose 1 mois (mSv)	Bénitier	-	0,58	0,50	0,32	0,32	0,20
Dose 1 mois (mSv)	Turbo	-	0,18	0,15	0,10	0,10	0,06

Tableau 12 : Dose à la thyroïde (mSv) due à la consommation de mollusques

La dose maximale à la thyroïde due à la consommation de mollusques est au plus de l'ordre de 0,6 mSv, pour un enfant âgé de 1 à 2 ans consommant du bénitier.

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 pour les adultes.

Valeur de dose	Enfant 1-2 ans		Adulte	
	minimale	maximale	minimale	maximale
dose dépôt 6 mois	0,11	0,11	0,11	0,11
dose panache	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,002	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,002
dose efficace inhalation	$7,6 \cdot 10^{-4}$	0,0031	$5,3 \cdot 10^{-4}$	0,0021
eau de boisson	0,37	7,0	0,10	1,8
végétaux	0,028	0,72	0,025	0,64
poissons	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
mollusques	0,015	0,048	0,0058	0,019
total ingestion	0,41	7,8	0,13	2,5
interne				
(inhalation + ingestion)	0,41	7,8	0,13	2,5
total	0,52	7,9	0,24	2,6

Tableau 13 : Synthèse des doses efficaces (mSv)

Valeur de dose	Enfant 1-2 ans		Adulte	
	minimale	maximale	minimale	maximale
dose thyroïde inhalation	0,0096	0,039	0,0042	0,017
eau de boisson	4,3	88,2	1,0	19,4
végétaux	0,34	9,0	0,27	7,1
poissons	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
mollusques	0,18	0,58	0,06	0,20
total ingestion	4,82	98	1,33	26,7
interne				
(inhalation + ingestion)	4,83	98	1,33	26,7

Tableau 14 : 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 0,2 à 2,6 mSv pour un adulte et de 0,5 à 7,9 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

La consommation d'eau la plus contaminée contribue le plus aux doses reçues par les adultes et les enfants (cf. Figure 3 à Figure 6).

Les doses internes à la thyroïde varient de 1,3 à 27 mSv pour un adulte et de 4,8 à 98 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

La consommation d'eau contribue le plus aux doses à la thyroïde reçues par les adultes et les enfants (cf. Figure 7 à Figure 10).

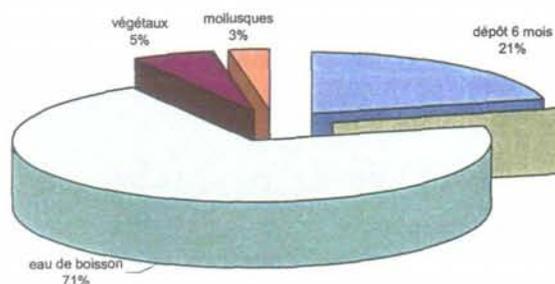


Figure 3 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les enfants âgés de 1 à 2 ans – consommation d'eau peu contaminée

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant de l'eau la moins contaminée), la dose efficace est de 0,52 mSv.

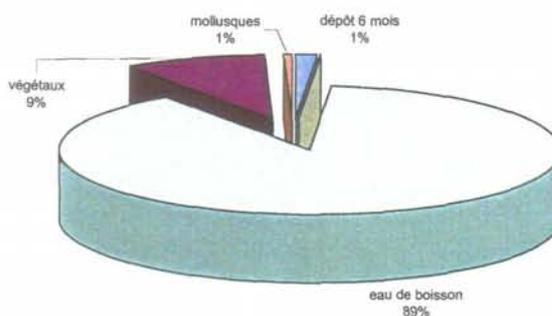


Figure 4 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les enfants âgés de 1 à 2 ans – consommation d'eau très contaminée

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant de l'eau la plus contaminée), la dose efficace est de 7,9 mSv.

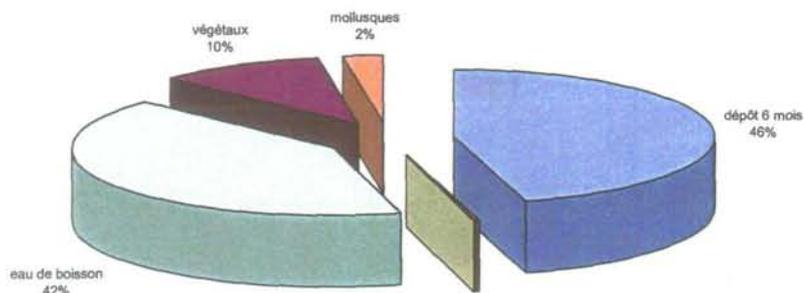


Figure 5 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les adultes – consommation d'eau peu contaminée

Dans ce cas (adultes consommant de l'eau la moins contaminée), la dose efficace est de 0,24 mSv.

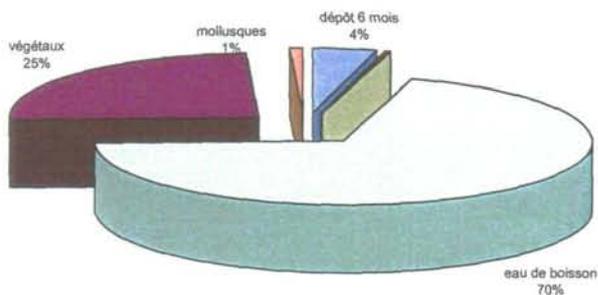


Figure 6 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose efficace pour les adultes – consommation d'eau très contaminée

Dans ce cas (adultes consommant de l'eau la plus contaminée), la dose efficace est de 2,6 mSv.

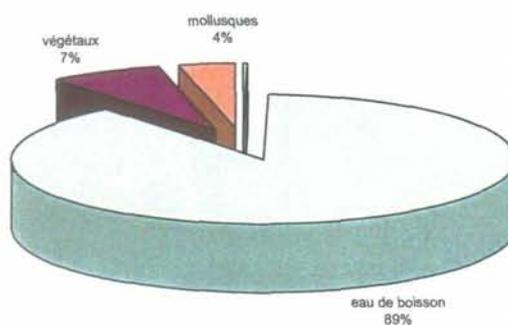


Figure 7 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour les enfants de 1 à 2 ans – consommation d'eau peu contaminée

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant de l'eau la moins contaminée), la dose à la thyroïde est de 4,8 mSv.

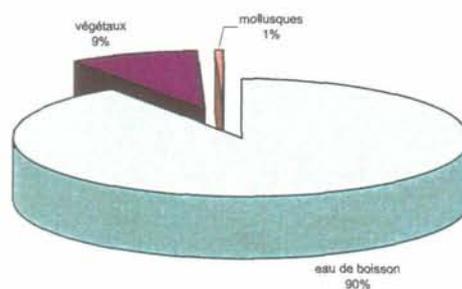


Figure 8 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose interne à la thyroïde pour les enfants de 1 à 2 ans – consommation d'eau très contaminée

Dans ce cas (enfants âgés de 1 à 2 ans consommant de l'eau la plus contaminée), la dose à la thyroïde est de 98 mSv.

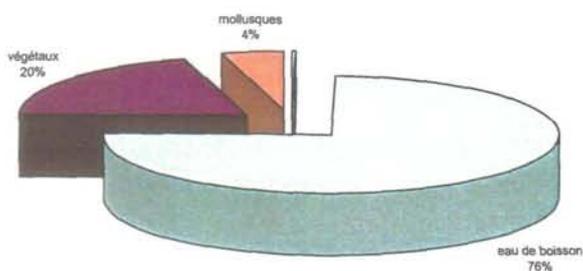


Figure 9 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde pour les adultes – consommation d'eau peu contaminée

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

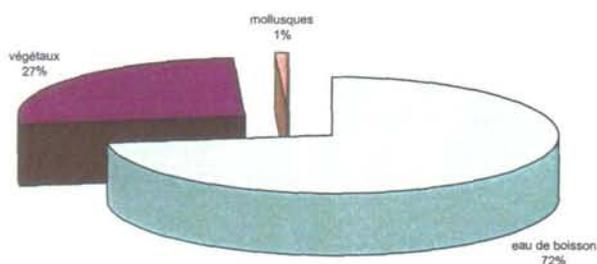


Figure 10 : Contribution relative des voies d'atteinte à la dose à la thyroïde pour les adultes – consommation d'eau très contaminée

Dans ce cas (adultes consommant de l'eau la plus contaminée), la dose à la thyroïde est de 27 mSv.

X - CONCLUSION

Ce document présente les calculs d'impact dosimétrique sur la population des îles Gambier des retombées de l'essai atmosphérique PHOEBE, réalisé le 8 août 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 lors du passage du panache, 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 $0,05 \text{ m.s}^{-1}$.

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 0,2 à 2,6 mSv pour un adulte et de 0,5 à 7,9 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

Les doses à la thyroïde reçues par la population des îles Gambier varient de 1,4 à 27 mSv pour un adulte et de 4,9 à 98 mSv pour un enfant âgé de 1 à 2 ans.

La principale contribution aux doses efficaces et à la thyroïde est la consommation d'eau. Les doses maximales sont obtenues à Taku, et correspondent à la consommation des eaux du puits communal.

XI - ANNEXE : DONNEES DE CALCUL

XI.1 - ISOTOPES MAJORITAIRES DANS LE TERME SOURCE

Isotope	Période (s)	pourcentage activité totale	pourcentage activité hors GR
¹³⁵ I	2.37E+04	7,3	8,1
¹⁴¹ La	1.41E+04	7,1	7,9
¹⁰⁵ Ru	1.60E+04	6,6	7,3
⁹² Y	1.27E+04	5,6	6,2
¹³⁵ Xe	3.29E+04	5,4	0,0
¹³³ I	7.49E+04	4,2	4,7
⁹³ Y	3.66E+04	4,0	4,5
⁹⁷ Nb	4.33E+03	4,0	4,4
⁹⁷ Zr	6.03E+04	3,8	4,2
¹⁴⁵ Pr	2.15E+04	3,8	4,2
^{97m} Nb	5.27E+01	3,6	4,0
⁹² Sr	9.76E+03	3,6	4,0
⁹¹ Sr	3.47E+04	2,8	3,2
¹⁴² La	5.47E+03	2,8	3,2
¹³⁹ Ba	4.98E+03	2,8	3,1
¹³⁴ I	3.15E+03	2,1	2,3
⁸⁸ Rb	1.07E+03	1,9	2,1
^{105m} Rh	4.00E+01	1,9	2,1
¹²⁹ Te	4.18E+03	1,9	2,1
¹⁴³ Ce	1.19E+05	1,8	2,0
^{91m} Y	2.98E+03	1,8	2,0
¹²⁹ Sb	1.57E+04	1,7	1,9
⁸⁸ Kr	1.02E+04	1,7	-
⁹⁹ Mo	2.37E+05	1,3	1,5
¹⁰⁵ Rh	1.27E+05	1,3	1,4
^{135m} Xe	9.17E+02	1,3	-
¹³² I	8.26E+03	1,1	1,3
¹²⁸ Sb	3.24E+04	1,0	1,1
¹³² Te	2.77E+05	1,0	1,1
¹⁴⁹ Nd	6.22E+03	0,8	0,9
^{83m} Kr	6.59E+03	0,7	-
²³⁹ Np	2.03E+05	0,7	0,7
^{99m} Tc	2.16E+04	0,6	0,7
^{85m} Kr	1.61E+04	0,6	-
^{109m} Ag	3.96E+01	0,5	0,6
¹⁰⁹ Pd	4.93E+04	0,5	0,6
^{58m} Co	3.20E+04	0,5	0,6
⁸⁷ Kr	4.58E+03	0,4	-
^{131m} Te	1.08E+05	0,4	0,5
^{133m} Te	3.32E+03	0,4	0,5
⁸³ Br	8.64E+03	0,4	0,4
¹³⁵ I	2.37E+04	7,3	8,1
¹⁴¹ La	1.41E+04	7,1	7,9

Tableau 15 : Produits de fission présents dans le nuage et le dépôt (hors gaz rares) à T+6h30

XI.2 - MESURES DANS LES MILIEUX

XI.2.1 - ACTIVITE DANS LES EAUX

On dispose de mesures dans de l'eau prélevée à Taku (eau de citernes et d'un puits communal, référence "8" dans le Tableau 16 ci-dessous) et à Rikitea (eau de source ou de robinet – cf. Tableau 17).

Dans le Tableau 16 et le Tableau 17, les activités sont celles obtenues le jour de la mesure.

Point de prélèvement	Date prélèvement	Date mesure	¹³¹ I
8	10-août	11-août	1.80E+03
1	15-août	19-août	3.22E+02
2	15-août	19-août	5.22E+02
3	15-août	19-août	8.44E+02
4	15-août	19-août	1.76E+02
5	15-août	19-août	5.07E+00
6	15-août	19-août	2.04E+02
7	15-août	19-août	4.92E+02
8	15-août	19-août	8.88E+02
8	10-août	18-août	1.15E+03
1	17-août	21-août	8.14E+01
2	17-août	21-août	1.31E+02
3	17-août	21-août	2.87E+02
4	17-août	21-août	8.70E+01
5	17-août	22-août	1.78E+01
6	17-août	22-août	1.81E+02
7	17-août	22-août	5.37E+01
8	17-août	22-août	6.85E+00
2	24-août	01-sept	5.99E+01
3	24-août	01-sept	3.92E+01
4	24-août	01-sept	1.89E+00
5	24-août	01-sept	1.92E+01
6	24-août	01-sept	4.81E+00
7	24-août	01-sept	1.30E+02
8	24-août	01-sept	
2	31-août	06-sept	4.00E+01
4	31-août	06-sept	1.78E+00
5	31-août	06-sept	8.10E+00
6	31-août	06-sept	5.11E+01
7	31-août	06-sept	7.84E+01
8	31-août	06-sept	1.18E+00

Tableau 16 : Activité de l'eau prélevée dans des citernes de Taku ou dans le puits communal (Bq.l⁻¹)

	date prélèvement	date mesure	¹³¹ I
source	10-août	11-août	1.26E+00
robinet	10-août	11-août	7.40E-01
source	18-août	25-août	1.11E+00
robinet	18-août	25-août	4.88E+01
source	24-août	31-août	6.51E+00
robinet	24-août	31-août	7.77E+00
source	30-août	08-sept	
robinet	30-août	08-sept	

Tableau 17 : Activité de l'eau prélevée à Rikitea (Bq.l⁻¹)

XI.2.2 - ACTIVITE DANS LES ALIMENTS

Les tableaux suivants présentent l'évolution de l'activité dans différents produits prélevés aux îles Gambier après l'essai PHOEBE. Dans le Tableau 18 et le Tableau 19, les activités sont celles obtenues le jour de la mesure.

Aliment	prélèvement	mesure	¹³¹ I
Salade	10-août	16-août	2.50E+03
Salade	23-août	02-sept	5.29E+02
Chou	10-août	12-août	4.37E+02
Chou	23-août	02-sept	2.56E+02
Fafa cuit	10-août	12-août	1.40E+04
Fafa cuit	23-août	02-sept	3.22E+03
Banane	12-août	24-août	-
Banane	26-août	02-sept	-
Uru	12-août	24-août	-
Uru	21-août	02-sept	-
Taro	21-août	02-sept	-
Eau coco	12-août	24-août	-
Eau coco	30-août	07-sept	-
Coprah coco	12-août	24-août	5.55E+00
Coprah coco	30-août	07-sept	-
Taro	12-août	24-août	-
Bénitier	11-août	25-août	1.83E+02
Bénitier	20-août	03-sept	3.90E+00
Turbo	11-août	25-août	5.58E+01
Turbo	21-août	03-sept	1.30E+01
Poisson lagon	20-août	03-sept	-
Poisson haute mer	26-août	03-sept	-
Poulet	28-août	08-sept	-

Tableau 18 : Activité en ¹³¹I dans des aliments prélevés aux îles Gambier (Bq.kg⁻¹)

Aliment	Date de prélèvement	Date de mesure	β globale	^{131}I	^{132}Te
Salade non lavée	10-août	12-août	4.51E+05		
Salade non lavée	10-août	16-août	1.17E+05	9.55E+03	
Salade non lavée	23-août	02-sept	1.08E+04	5.29E+02	8.14E+01
Fafa	18-août	23-août	1.67E+04	2.41E+03	3.63E+02
Fafa	23-août	02-sept	3.84E+04	3.22E+03	
Chou	18-août	25-août	2.59E+03	3.00E+02	5.11E+01
Chou	23-août	02-sept	2.63E+03	2.02E+02	
Bénitier	11-août	25-août	9.53E+02	1.83E+02	
Bénitier	20-août	03-sept	1.80E+02	3.91E+01	
Turbo	11-août	25-août	5.08E+02	5.58E+01	
Turbo	21-août	03-sept	2.49E+02	1.32E+01	

Tableau 19 : Activité des radionucléides dans des aliments 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 20 : 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 21 : 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 22 : 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 23 : 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.