



Point zéro radiologique dans le lagon du Taaone avant la mise en exploitation de l'hôpital Jacques Chirac de Tahiti

Année 2009

**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE L'INTERVENTION**

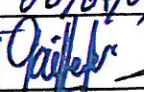
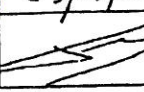
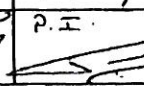
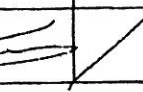
Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans
l'environnement

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'INTERVENTION

Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans
l'environnement - BP n°40035 - 78116 Le Vésinet CEDEX

Demandeur					
Projet 3.1.1. - Macroprocessus		R5			
Point zéro radiologique dans le lagon du Taaone avant la mise en exploitation de l'hôpital Jacques Chirac de Tahiti Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement Rapport DEI/SESURE n° 2009-31					
	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur	Chef du SESURE	Directeur de la DEI	Directeur Général de l'IRSN
Noms	P. BOUISSET	G. LECLERC	J.-M. PERES	D. CHAMPION	J. REPUSSARD
Dates	06/07/09	06/07/09	23/07/09	23/07/09	
Signatures					
DIFFUSION : Libre ☒ Interne ☐ Limitée ☐					

Ont contribué à l'élaboration de ce rapport :

Nom	Organisme
P. BOUISSET	Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement
G. LECLERC	

Les prélèvements dans le lagon du Taaone ont été réalisés avec le concours des services du centre Ifremer de Vairao - Tahiti

Contact :

Pour toute information complémentaire, vous pouvez contacter :

Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement

IRSN/DEI/SESURE/LESE

BP 182

98725 Vairao - Tahiti

patrick.bouisset@mail.pf

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION	5
2 DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT DANS LA BAIE DU TAAONE	5
2.1 COLLECTE DES EAUX ET SEDIMENTS	6
2.2 COLLECTE DES ALGUES ET POISSONS	6
3 PREPARATIONS ET ANALYSES	7
4 RESULTATS	8
4.1 EAUX	8
4.2 ALGUES ET SEDIMENTS	10
4.3 POISSONS	14
5 CONCLUSION	15
LISTE DES FIGURES	16
LISTE DES TABLEAUX	16
ANNEXE I : ELEMENTS D'INFORMATION SUR LA RADIOACTIVITE ET LES RAYONNEMENTS IONISANTS	17

1 INTRODUCTION

La mise en exploitation du nouvel hôpital de Tahiti à Arue, programmée pour le début 2010, va mettre en jeu à terme un service de radiothérapie et de diagnostic.

Dans un premier temps, seul un accélérateur d'électrons, qui produira un flux de photons par impact sur une cible, sera mis en route. Son implantation et les premiers essais ont été réalisés fin 2008.

Dans les années à venir pourrait être mis en service un cyclotron médical produisant des radionucléides de courtes périodes (125I, 131I, 201Tl, 99mTc).

Dans ce contexte, la Direction de l'Environnement de la Polynésie française a demandé à l'IRSN de réaliser un point zéro radioécologique du lagon au niveau de la baie du Taaone, où se situe l'exutoire des effluents liquides de l'hôpital (bon de commande n°B010L/09/ENV le 02/02/09). Pour répondre à cette demande et conformément à la proposition technique et financière acceptée par la Direction de l'Environnement (réf 112418 du 15/09/08), le Laboratoire d'Etude et de Suivi de l'Environnement à l'IRSN (LESE) a organisé une campagne de prélèvement d'échantillons biologique, de sédiment et d'eau de mer dans le lagon du Taaone le 5 mai 2009.

Le présent rapport présente les conditions de prélèvements, le traitement et les analyses des échantillons ainsi que leur interprétation.

2 DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENT DANS LA BAIE DU TAAONE

La campagne de prélèvement du 5 mai 2009 s'est déroulée par temps calme et ensoleillé. La collecte des échantillons a été réalisée avec le navire de l'IRSN et grâce à l'appui de l'équipe de plongeurs du centre Ifremer de Vairao.

L'échantillonnage porte sur l'eau de mer (4 échantillons), les sédiments/sables (7 échantillons), les poissons (1 échantillon) et les algues (1 échantillon).

L'émissaire de l'hôpital a été facilement repéré par les remous (fig 1) générés par l'émissaire contiguë des eaux de rivière ou des eaux usées de ville. Il est situé dans l'axe de la passe et de l'hôpital (fig 2) à environ 60 m de la plage et à 4 m de profondeur (S 17° 31,527'; O 149° 32,956').



**Figure 1 : Remous en surface créés
Par l'exutoire des eaux usées**

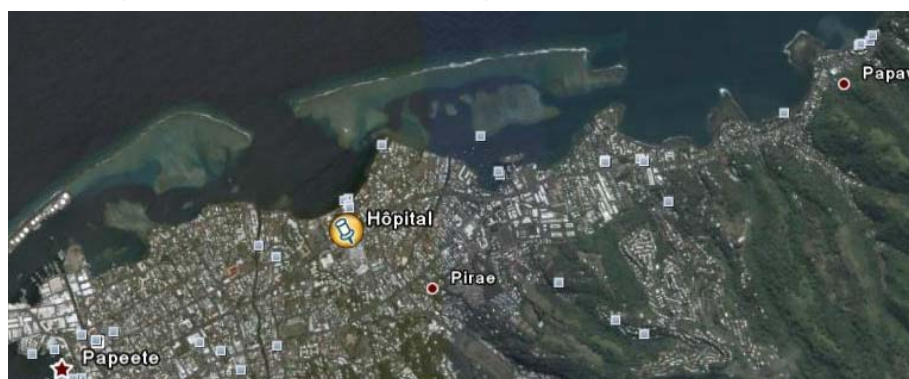


Figure 2 : Vue Google de la baie du Taaone et de l'hôpital Jacques Chirac de Papeete

Les prélèvements d'eaux ont été effectués à 3 m de profondeur et tous les autres prélèvements à 4 m de profondeur, sauf le sédiment au niveau de la passe. A cause de la profondeur de la passe ce dernier prélèvement n'a pu être fait au centre de la passe, comme prévu, mais à quelques mètres à gauche de la bouée verte (fig 3) en sortant de la passe (S 17° 31,131'; O 149° 33,202'), et en remontant la pente à 47m, profondeur accessible aux plongeurs.



Figure 3 : Prélèvements (eau et sédiment) au niveau de la passe sous la bouée rouge à 10 m de la balise verte

Nous avons pu constater la pauvreté de la faune et de la flore dans le lagon avec un fond sableux noir dépourvu de pratiquement toute vie. Les holothuries n'ont pas pu être collectées. Seuls de petits poissons à l'émissaire des eaux usées, à la sortie de la canalisation, ont été observés et pêchés. Une surface de quelques mètres carrés parsemée d'algues a été trouvée et a permis de réaliser l'échantillonnage prévu.

Deux phases de collecte ont été nécessaires. La première phase a été réalisée avec deux plongeurs autonomes pour collecter les eaux (4 échantillons) et les sédiments (7 échantillons). La seconde phase, après avoir débarqué le matériel de plongée autonome, a été entreprise avec un plongeur en apnée pour la collecte des algues et des poissons et éventuellement des holothuries.

2.1 COLLECTE DES EAUX ET SEDIMENTS

Les points de prélèvement se situent :

- pour l'eau, à 3 m de profondeur, à 1 m de l'exutoire dans son axe pour 1 échantillon et à 50 m dans l'axe (0°) et à un angle de 45° de part et d'autre de l'axe de la conduite pour les 3 autres échantillons. La collecte a été réalisée à l'aide de bidon en polyéthylène de 2L.
- pour les sédiments, les prélèvements ont eu lieu aux mêmes coordonnées que ceux des eaux, avec 2 prélèvements en plus à 90° de l'axe à la même distance de 50 m, et un prélèvement au niveau de la passe. Les échantillons, 1 à 2 kg, ont été placés dans des sacs vinyl.

2.2 COLLECTE DES ALGUES ET POISSONS

Les points de prélèvement se situent, pour les poissons et les algues, dans un rayon de 50 m dans la demi-circonférence perpendiculaire à l'axe de la conduite.

- les poissons (fig 4) ont été pêchés avec un fusil de chasse devant l'émissaire des eaux usées sauf la petite carangue pêchée sur l'angle de la passe (proche du point de collecte du sédiment).
- les algues ont été collectées sur un fond de quelques mètres carrés parsemé d'une espèce de petite taille. La collecte a été réalisée à la main et placée dans un filet (fig 5) pour limiter la présence du sable en rinçant le filet dans l'eau de mer.



Figure 4 : Pêche réalisée dans le lagon du Taaone



Figure 5 : Collecte des algues avec un filet

3 PREPARATIONS ET ANALYSES

Les échantillons ont préparés et conditionnés pour des mesures de spectrométrie gamma directe à l'aide des détecteurs germanium bas bruit de fond de l'IRSN/LESE.

Les échantillons sont conditionnés dans des conteneurs cylindriques standardisés du laboratoire, avec des capacités de 60 ml à 500 ml.

Les radionucléides recherchés sont ^{131}I , ^{123}I , ^{201}Tl , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{137}Cs , ^{60}Co (ces 2 derniers peuvent être décelés suite aux retombées des essais nucléaires atmosphériques), ^{40}K et les descendants des familles naturelles (^{232}Th et ^{238}U) émetteurs gamma.

Compte tenu de l'émission radiative gamma de tous les radionucléides recherchés, seule la spectrométrie gamma est mise en œuvre.

Les mesures sont faites sur les échantillons d'eau et d'algues à l'état frais pour le cas où il y aurait des radionucléides sous une forme chimique volatile.

Les échantillons solides sont séchés afin de réaliser un effet de concentration indispensable pour les mesures directes d'éléments traces par spectrométrie gamma. Pour augmenter cet effet de concentration, les algues et les poissons auraient pu être calcinés si les quantités prélevées avaient été plus importantes.

Les échantillons sont broyés et homogénéisés avant le conditionnement. Ce conditionnement est réalisé dans les conteneurs les plus adaptés à la quantité d'échantillon disponible (60 à 500 ml).

La durée de comptage est de l'ordre de 24 h, éventuellement 48 h à 72 h si la présence de raies de faibles intensités est décelée.

Le matériel utilisé pour ces mesures de traces est constitué de détecteurs germanium hyper pur (HP-Ge) bas bruit de fond, de très haute résolution et de grande efficacité.

Tous les échantillons à l'état sec et les spectrogrammes gamma sont archivés par le LESE pour une durée minimale de 5 années.

Tableau 1 : Caractéristiques des prélèvements et de leurs préparations pour les mesures de spectrométrie gamma

Matrice	Quantité prélevée par échantillon	Nombre d'échantillons collectés	Nombre d'échantillons analysés en frais	Nombre d'échantillons analysés en sec	Total des spectrométries gamma
eau	2 L	4	4	-	4
sédiments	1,5-2 kg	7	-	7	7
poissons	428 g	1	-	1	1
holothuries	Non prélevé	-	-	-	-
algues	0,6 kg	1	1	1	2
Total		13	5	9	14

4 RESULTATS

Les résultats sont exprimés sous forme d'une activité spécifique (becquerel par quantité d'échantillons, Bq/kg sec, Bq/kg frais ou Bq/L) ou par une limite de détection si le signal est inférieur au seuil de décision. Les incertitudes de mesure (à 2σ - 95%) prises en compte sont issues de l'incertitude de l'étalonnage et de la statistique de comptage.

Les valeurs d'activité sont rapportées à la date de prélèvement (correction de décroissance par rapport à la date de la mesure). Dans le cas des radionucléides de courtes périodes tels que ceux d'origine médicale, les résultats sont aussi exprimés à la date de la mesure afin de se rendre compte des meilleures limites de détection qu'il serait possible d'obtenir si les mesures étaient mise en œuvre immédiatement après le prélèvement, situation idéale, mais techniquement impossible. Nous avons opté pour une préparation d'échantillons et des durées de comptage longues afin de favoriser la quantification des radionucléides artificiels et naturels, de longues périodes, dont certains sont à l'état de trace.

4.1 EAUX

Les mesures ont été réalisées sur des aliquotes d'environ 510 mL avec des durées de comptages très longues, entre 3 et 4 jours, afin d'obtenir des limites de détection basses.

Tableau 2 : Activités des radionucléides observés ou recherchés dans les échantillons d'eau de mer

N° mesure	Prélèvement		Conditionnement			Mesure		
	Date	Nature	Quantité (L)	Géométrie	Qualité	Détecteur	Durée (s)	Date de mesure
090501	05/05/2009	Eau de mer (E1)	0,512	500 ml	Liquide	Voie 4	256 779	26/05/2009
090502	05/05/2009	Eau de mer (E2)	0,512	500 ml	Liquide	Voie 4	343 632	29/05/2009
090503	05/05/2009	Eau de mer (E3)	0,510	500 ml	Liquide	Voie 4	256 442	04/06/2009
090504	05/05/2009	Eau de mer (E4)	0,511	500 ml	Liquide	Voie 4	259 088	05/06/2009

N° mesure	Activité Bq/L avec correction de décroissance			
	Radionucléides artificiels (activité médicale)			
	¹²⁵ I	¹³¹ I	²⁰¹ Tl	^{99m} Tc
090501	< 0,120	< 0,5	< 39	
090502	< 0,109	< 0,7	< 36	
090503	< 0,133	< 1,2	< 150	période trop courte pour calculer la décroissance
090504	< 0,133	< 1,2	< 180	

N° mesure	Activité Bq/L		
	Radionucléide naturel	Radionucléides artificiels	
	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co
090501	13,5 ± 0,8	< 0,09	< 0,16
090502	13,2 ± 0,8	< 0,14	< 0,07
090503	12,8 ± 0,8	< 0,09	< 0,08
090504	13,6 ± 0,8	< 0,09	< 0,08

N° mesure	Activité Bq/L sans correction de décroissance			
	Radionucléides artificiels (activité médicale)			
	¹²⁵ I	¹³¹ I	²⁰¹ Tl	^{99m} Tc
090501	< 0,757	< 0,09	< 0,4	< 1,0
090502	< 0,082	< 0,08	< 0,2	< 1,0
090503	< 0,094	< 0,09	< 0,2	< 1,0
090504	< 0,093	< 0,09	< 0,2	< 0,9

4.2 ALGUES ET SEDIMENTS

Les mesures ont été réalisées, en frais pour les algues et en sec pour les sédiments dans des conteneurs de 380 ml et pour des durées de comptages très longues, entre 2 à 3 jours, afin d'obtenir des limites de détection très basses.

Tableau 3 : Activités des radionucléides observés ou recherchés dans les échantillons d'algue et de sédiment

N° Mesure	Prélèvement		Conditionnement			Mesure		
	Date échantillon	Nature	Quantité	Qualité	Géométrie	Détecteur	Durée (s)	Date de mesure
090505	05/05/2009	Algue entière	244,7 g	frais	380 ml	Voie 4	330 225	18/06/2009
090537	05/05/2009	Algue entière	71,2 g	sec	60 ml	Voie 2	250371	06/07/2009
090506	05/05/2009	Sédiment S1	631,4 g	sec	380 ml	Voie 1	179 810	26/05/2009
090507	05/05/2009	Sédiment S2	545,9 g	sec	380 ml	Voie 1	398 905	29/05/2009
090508	05/05/2009	Sédiment S3	624,6 g	sec	380 ml	Voie 1	201 358	04/06/2009
090509	05/05/2009	Sédiment S4	538,2 g	sec	380 ml	Voie 1	173 558	05/06/2009
090510	05/05/2009	Sédiment S5	562,2 g	sec	380 ml	Voie 1	173 668	06/06/2009
090511	05/05/2009	Sédiment S6	492,6 g	sec	380 ml	Voie 1	225 351	08/06/2009
090512	05/05/2009	Sédiment S7	496,3 g	sec	380 ml	Voie 4	173 882	08/06/2009

N° Mesure	Activité Bq/kg sec (et Bq/kg frais pour le N° 090505)							
	Radionucléides naturels				famille ²³² Th			
	²²⁸ Ac	²²⁴ Ra	²¹² Pb		²¹² Bi		²⁰⁸ Tl	
090505	1,5 ± 0,2	< 2,9	1,9 ± 0,2		1,7 ± 0,6		0,6 ± 0,1	
090537	7,1 ± 1,3	12 ± 4	9,4 ± 1,4		7 ± 3		2,5 ± 0,4	
090506	10,6 ± 0,4	8,4 ± 1,8	11,5 ± 0,7		11,4 ± 1,0		3,5 ± 0,2	
090507	11,8 ± 0,4	9,1 ± 1,9	13,4 ± 0,7		12,7 ± 0,9		3,9 ± 0,2	
090508	8,8 ± 0,3	6,5 ± 1,6	9,8 ± 0,6		9,8 ± 0,9		2,8 ± 0,2	
090509	11,6 ± 0,4	8,5 ± 2,1	13,7 ± 0,8		12,2 ± 1,1		3,8 ± 0,2	
090510	11,1 ± 0,4	9,2 ± 2,0	12,2 ± 0,7		11,4 ± 1,0		3,7 ± 0,2	
090511	14,2 ± 0,4	9,9 ± 2,4	16,9 ± 1,0		16,6 ± 1,2		5,0 ± 0,2	
090512	2,7 ± 0,2	2,5 ± 1,0	2,7 ± 0,2		3,1 ± 0,5		0,8 ± 0,1	

N° mesure	Radionucléides naturels				famille ²³⁸ U		
	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁴ Pb		²¹⁴ Bi		²¹⁰ Pb
090505	27,9 ± 3,0	33,6 ± 5,6	0,8 ± 0,2		1,0 ± 0,1		18,7 ± 2,0
090537	54 ± 25	90 ± 30	6,6 ± 0,7		4,9 ± 0,7		ND
090506	15,5 ± 1,5	27,9 ± 5,0	8,4 ± 0,3		7,1 ± 0,3		< 44
090507	17,2 ± 1,4	33,8 ± 4,0	10,4 ± 0,4		8,6 ± 0,3		< 34
090508	9,7 ± 1,3	15,9 ± 4,2	7,7 ± 0,3		6,4 ± 0,3		< 40
090509	17,9 ± 2,6	24,9 ± 5,6	10,1 ± 0,4		8,3 ± 0,4		< 51
090510	11,7 ± 1,9	25,1 ± 5,5	9,8 ± 0,4		8,0 ± 0,3		< 50
090511	21,3 ± 1,9	33,8 ± 5,7	12,9 ± 0,5		10,7 ± 0,4		< 52
090512	28,6 ± 1,7	46,5 ± 6,4	3,1 ± 0,2		2,5 ± 0,2		11,1 ± 21,0
090512	27,0 ± 1,0	52,7 ± 5,3	2,4 ± 0,2		2,5 ± 0,1		24,5 ± 1,5

N° mesure	Radionucléides naturels				Radionucléides artificiels	
	famille ^{235}U					
	^{235}U	^{40}K	^7Be		^{137}Cs	^{60}Co
090505	0,3 ± 0,1	130 ± 7	14,3 ± 1,0		< 0,14	< 0,2
090537	< 1	510 ± 40	62 ± 7		< 0,5	< 0,6
090506	1,0 ± 0,3	176 ± 10	11,5 ± 0,9		< 0,13	< 0,2
090507	1,0 ± 0,2	197 ± 11	14,9 ± 0,9		0,13 ± 0,03	< 0,08
090508	0,5 ± 0,3	165 ± 9	11,4 ± 0,9		0,10 ± 0,03	< 0,2
090509	1,1 ± 0,3	183 ± 10	18,1 ± 1,3		< 0,15	< 0,2
090510	0,9 ± 0,3	192 ± 11	14,3 ± 1,1		0,11 ± 0,04	< 0,2
090511	1,4 ± 0,3	209 ± 12	24,4 ± 1,6		0,21 ± 0,05	< 0,2
090512	1,3 ± 0,3	47 ± 3	10,8 ± 0,9		< 0,11	< 0,2
090512	0,6 ± 0,8	45 ± 2	10,9 ± 0,8		0,05 ± 0,03	< 0,09

Activité Bq/kg sec (et Bq/kg frais pour le N° 090505)

N° mesure	Activité Bq/kg avec correction de décroissance			
	Radionucléides artificiels (activité médicale)			
	¹²⁵ I	¹³¹ I	²⁰¹ Tl	^{99m} Tc
090505	< 0,3	< 7	< 6800	
090506	< 9800	< 0,8	< 140	
090507	< 700	< 0,9	< 130	
090508	< 880	< 2	< 1400	
090509	< 1200	< 3	< 2100	période trop courte pour calculer la décroissance
090510	< 1100	< 3	< 1900	
090511	< 1200	< 3	< 3300	
090512	< 1100	< 4	< 6000	
090512	< 0,2	< 2	< 520	

N° mesure	Activité Bq/kg sans correction de décroissance			
	Radionucléides artificiels (activité médicale)			
	¹²⁵ I	¹³¹ I	²⁰¹ Tl	^{99m} Tc
090505	< 0,2	< 0,2	< 0,3	< 1,5
090506	< 690	< 0,2	< 1,1	< 1,0
090507	< 530	< 0,2	< 0,6	< 1,5
090508	< 620	< 0,2	< 1,5	< 0,9
090509	< 790	< 0,2	< 1,8	< 1,0
090510	< 760	< 0,2	< 1,3	< 0,7
090511	< 790	< 0,2	< 1,4	< 1,3
090512	< 650	< 0,2	< 1,0	< 0,9
090512	< 1,0	< 0,1	< 0,3	< 0,6

4.3 POISSONS

La mesure a été réalisée avec les poissons entiers réduits à l'état sec et placés dans un conteneur de 60 ml avec une durée de comptage longue (1 jour).

Tableau 4 : Activités des radionucléides observés ou recherchés dans les poissons

N° mesure	Prélèvement		Conditionnement			Mesure		
	Date	Nature	Quantité	Géométrie	Qualité	Détecteur	Durée (s)	Date de mesure
090513	05/05/2009	Poisson entier	56,5 g sec soit 197,9 g frais	60 ml	sec	Voie 5	89191	02/06/2009

N° mesure	Activité Bq/kg sec et frais		
	Radionucléide naturel	Radionucléides artificiels	
	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co
090513	456 ± 34 Bq/kg sec	0,69 ± 0,36 Bq/kg sec	< 0,1 Bq/kg sec
	138 ± 10 Bq/kg frais	0,20 ± 0,10 Bq/kg frais	< 0,3 Bq/kg frais

N° mesure	Activité avec correction de décroissance			
	Radionucléides artificiels (activité médicale)			
	¹²⁵ I	¹³¹ I	²⁰¹ Tl	^{99m} Tc
090513	< 0,4 MBq/kg sec	< 10 Bq/kg sec	< 3,1 kBq/kg sec	période trop courte pour calculer la décroissance
090513	< 0,11 MBq/kg frais	< 3 Bq/kg frais	< 0,9 Bq/kg frais	

N° mesure	Activité sans correction de décroissance			
	Radionucléides artificiels (activité médicale)			
	¹²⁵ I	¹³¹ I	²⁰¹ Tl	^{99m} Tc
090513	< 0,3 MBq/kg sec	< 0,9 Bq/kg sec	< 5,5 Bq/kg sec	< 2,1 Bq/kg sec
090513	< 0,08 MBq/kg frais	< 0,3 Bq/kg frais	< 1,6 Bq/kg frais	< 0,6 Bq/kg frais

5 CONCLUSION

L'objectif de cette expertise a été d'établir un point « zéro » radiologique préliminaire au démarrage de l'hôpital pour servir de valeurs de références lors d'évaluations d'impact futures. A cet effet, une campagne de prélèvements a été organisée le 5 mai 2009, dans l'environnement marin lagunaire du Taaone, à proximité de l'exutoire de l'hôpital..

Les analyses de l'eau de mer (4 échantillons), les sédiments/sables (7 échantillons), les poissons (1 échantillon) et les algues (1 échantillon) montrent l'absence attendue de toute trace de radionucléide d'origine médicale. Les résultats présentés sont des limites de détection obtenues avec des moyens analytiques très performants.

Un radionucléide artificiel, issu des retombées atmosphériques anciennes (essais nucléaires), le ^{137}Cs , a été détecté à des niveaux extrêmement faibles dans les sédiments et les poissons (en accord avec les résultats obtenus dans le cadre de la surveillance régulière assurée par l'IRSN en Polynésie ¹).

¹ Bouisset P., Leclerc G., Rua J. Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française – Année 2007. Rapport DEI/SESURE n° 2008-54 (2008) 74 p.

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1	Remous en surface créés par l'exutoire des eaux usées	5
Figure 2	Vue Google de la baie du Taaone et de l'hôpital Jacques Chirac de Pirae	5
Figure 3	Prélèvements (eau et sédiment) au niveau de la passe sous la bouée rouge à 10 m de la balise verte	6
Figure 4	Pêche réalisée dans le lagon du Taaone	7
Figure 5	Collecte des algues avec un filet	7

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1	Caractéristiques des prélèvements et de leurs préparations pour les mesures de spectrométrie gamma	8
Tableau 2	Activités des radionucléides observés ou recherchés dans les échantillons d'eau de mer	8
Tableau 3	Activités des radionucléides observés ou recherchés dans les échantillons d'algue et de sédiment	10
Tableau 4	Activités des radionucléides observés ou recherchés dans les poissons	14

SOMMAIRE DE L'ANNEXE I

ANNEXE I : ELEMENTS D'INFORMATION SUR LA RADIOACTIVITE ET LES RAYONNEMENTS IONISANTS	17
AI.1 QU'EST-CE QUE LA RADIOACTIVITE ?	17
AI.2 LA PERIODE RADIOACTIVE D'UN ELEMENT	17
AI.3 D'OU VIENT LA RADIOACTIVITE ?	17
AI.3.1 Les sources d'exposition naturelle	18
AI.3.2 Les sources d'exposition provenant des applications des rayonnements ionisants	18
AI.4 LES RAYONNEMENTS IONISANTS	19
AI.4.1 Les différents rayonnements ionisants	19
AI.4.2 Les effets biologiques des rayonnements ionisants	19
AI.4.3 Les modes d'exposition aux rayonnements	19

ANNEXE I : ELEMENTS D'INFORMATION SUR LA RADIOACTIVITE ET LES RAYONNEMENTS IONISANTS

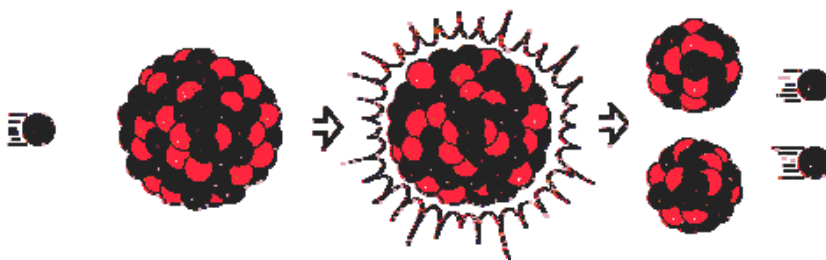
AI.1 Qu'est-ce que la radioactivité ?

La radioactivité est un phénomène naturel qui existe depuis que les atomes se sont formés, il y a des milliards d'années, au commencement de notre univers. Tous les atomes sont bâtis sur le même modèle : un noyau formé de protons et de neutrons autour duquel gravitent des électrons. Tous n'ont pas les mêmes propriétés : certains types d'atomes sont stables et restent indéfiniment identiques à eux-mêmes, d'autres sont instables. Ces derniers expulsent à un moment donné une partie de l'énergie qu'ils contiennent. On dit qu'ils émettent des rayonnements : c'est la radioactivité. Le phénomène s'appelle la fission.

De cette manière le polonium 210 se transforme spontanément en plomb 206 stable.

Certains éléments (80 sur 117) possèdent à la fois des isotopes stables et des isotopes instables. C'est par exemple le cas de l'iode. L'iode 127 est stable alors que l'iode 125 ou l'iode 131 sont radioactifs. Les isotopes d'un élément ont des propriétés chimiques identiques, ils ont le même numéro atomique Z, mais diffèrent par leur masse atomique A.

Les autres éléments, de numéro atomique Z supérieur à celui du plomb ($Z=82$), auxquels s'ajoutent le prométhéum et le technétium, n'ont pas d'isotope stable. C'est le cas par exemple de l'uranium, du plutonium et du radium. Ils n'existent que sous forme d'isotopes radioactifs. Les isotopes radioactifs sont appelés radionucléides.



AI.2 La période radioactive d'un élément

L'activité (nombre de désintégrations par unité de temps) est la mesure de la radioactivité d'un échantillon. C'est le nombre de noyaux qui s'y transforment en une seconde. Elle diminue avec le temps, suivant une courbe de décroissance radioactive.

Cette courbe permet de définir la période radioactive de l'élément, qui correspond au temps au bout duquel l'activité de l'échantillon a diminué de moitié.

Exemples de périodes radioactives :

- | | |
|---|---|
| ➤ Uranium 238 : 4,47 milliards d'années | ➤ Potassium 40 : 1,3 milliards d'années |
| ➤ Uranium 235 : 704 millions d'années | ➤ Iode 129 : 15,7 millions d'années |
| ➤ Césium 137 : 30,2 ans | ➤ Cobalt 60 : 5,27 ans |
| ➤ Iode 125 : 59,9 jours | ➤ Béryllium 7 : 53,3 jours |
| ➤ Iode 131 : 8,0 jours | ➤ Thallium 201 : 3,04 jours |
| ➤ Iode 123 : 13,2 heures | ➤ Technétium 99m : 6,02 heures |

AI.3 D'où vient la radioactivité ?

Elle est présente naturellement partout. L'atmosphère et la croûte terrestre contiennent des éléments radioactifs. Depuis la production, en 1934, du premier noyau radioactif artificiel, une part de la radioactivité

globale est d'origine artificielle. Les rayonnements émis par les rayonnements artificiels sont du même type que ceux émis par les radioéléments naturels.

Al.3.1 Les sources d'exposition naturelle

Dès la formation de la Terre, il y a environ cinq milliards d'années, la matière était constituée d'éléments radioactifs et d'éléments stables. Depuis la radioactivité n'a cessé de décroître puisque de nombreux atomes radioactifs se sont transformés pour l'essentiel en éléments stables. Certains se transforment toujours : c'est la radioactivité naturelle. Elle est également présente dans les organismes vivants : les tissus organiques et les os contiennent des éléments indispensables à la vie qui possèdent des isotopes radioactifs, comme le potassium 40 ou le carbone 14.

On distingue quatre sources naturelles d'exposition :

Al.3.1.1 le rayonnement cosmique

Le rayonnement cosmique provient de l'espace et augmente rapidement avec l'altitude (la couche atmosphérique protectrice devient moins épaisse). L'exposition passe de 0,5 mSv par an et par personne au niveau de la mer à 1,7 mSv par an et par personne à 4000 mètres d'altitude. A l'altitude de croisière d'un avion à réaction, le rayonnement cosmique est 150 fois plus élevé qu'au niveau de la mer (un vol Paris-Tokyo : 0,1 mSv ; un an à Paris : 0,7 mSv ; un an à la Paz : 2,7 mSv ; un jour à bord de Mir : 1 mSv).

Al.3.1.2 le rayonnement tellurique

Le rayonnement tellurique est émis par de nombreux éléments radioactifs présents dans l'écorce terrestre, comme l'uranium et le thorium. Il varie selon la nature du sol et change ainsi d'une région à l'autre : l'exposition passe de 0,5 mSv par personne et par an en moyenne dans le Bassin parisien à 1 mSv en Bretagne ou dans le Massif central contre 8 à 17,5 mSv dans certaines régions du Brésil et moins de 0,05 mSv en Polynésie française.

Al.3.1.3 L'air ambiant

L'air ambiant diffuse des émanations de radon, un gaz radioactif qui provient de la désintégration de l'uranium présent dans l'écorce terrestre. Ce gaz, ainsi que les produits qui en dérivent, se fixe dans les voies respiratoires. L'équivalent de dose moyen dans les maisons françaises est de 1,2 mSv par personne et par an. Il est variable selon la nature du sol, les matériaux de construction et la ventilation.

L'inhalation du radon et de ses descendants constitue, pour la population française, la première cause d'irradiation parmi les sources naturelles de rayonnements ionisants. C'est le risque de cancer du poumon qui motive la vigilance à l'égard du radon dans les habitations et les mines souterraines.

Al.3.1.4 Les boissons et les aliments

Les boissons et les aliments absorbés contiennent des éléments radioactifs. Après ingestion, ces éléments viennent se fixer dans les tissus et les os. Ainsi, l'organisme humain compte en moyenne 4500 Bq en potassium 40 et 3700 Bq en carbone 14. L'irradiation interne représente en moyenne 0,24 mSv par personne et par an.

Al.3.2 Les sources d'exposition provenant des applications des rayonnements ionisants

L'irradiation médicale constitue la source d'exposition la plus importante du fait du développement de la radiothérapie, de la médecine nucléaire et des cures thermales (certaines eaux minérales sont riches en radium et en thorium). Dans les pays industrialisés, une personne reçoit chaque année un équivalent de dose de 1,6 mSv. La moyenne mondiale est de 0,6 mSv par an et par personne.

Les applications techniques et industrielles constituent également une source de radioactivité. Les industries minières extractives, les retombées atmosphériques des essais militaires ou, plus quotidiennement,

l'exposition aux rayonnements émis par les téléviseurs ou les écrans informatiques, entraînent un équivalent de dose de 0,1 mSv par personne et par an.

AI.4 Les rayonnements ionisants

Les rayonnements les plus énergétiques transfèrent assez d'énergie aux électrons de la matière pour les arracher de leur atome. Ce qui engendre des molécules ionisées, des radicaux libres... et donc des réactions chimiques néfastes pour les cellules de l'organisme. On appelle dit de ces rayonnements qu'ils sont ionisants.

AI.4.1 Les différents rayonnements ionisants

- **Les rayonnements cosmiques**, qui incluent tous les rayonnements suivants ainsi que des muons (particules chargées) de très grande énergie.
- **Les rayonnements X et gamma**, rayonnement électromagnétique de grande énergie. Il faut de fortes épaisseurs de plomb (plusieurs 10^{aines} de cm) ou de béton pour arrêter les rayonnements X et gamma;
- **Les rayonnements alpha et bêta, noyaux d'hélium ou électrons** émise lors de la désintégration radioactive. Une simple feuille de papier arrête les alpha et il faut l'équivalent d'une feuille d'aluminium pour se protéger des bêta.
- **Les neutrons libres** qui sont surtout présents dans les réacteurs nucléaires sont indirectement ionisants, c'est leur interaction avec la matière qui génère des rayonnements gamma et/ou diverses particule, qui sont elles ionisantes. Les neutrons sont aussi présents aux altitudes de vol des avions long courrier et subsoniques, ils participent à 30% de la dose reçue par le personnel navigant.

AI.4.2 Les effets biologiques des rayonnements ionisants

L'énergie transférée par interaction des rayonnements dans les tissus biologiques peut entraîner des modifications de la matière vivante, au niveau cellulaire où ces rayonnements induisent des lésions. Deux approches sont utilisées pour étudier leurs différents effets biologiques : l'épidémiologie et l'expérimentation sur des molécules ou cellules d'organismes vivants.

- **Les effets immédiats** : une forte irradiation par des rayonnements ionisants provoque des effets immédiats sur les organismes vivants comme, par exemple, des brûlures plus ou moins importantes.
- **Les effets à long terme** : les expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants peuvent avoir des effets à long terme sous la forme de cancers et de leucémies. Ces effets se manifestent de façon aléatoire (que l'on ne peut pas prédire pour une personne donnée).
-

AI.4.3 Les modes d'exposition aux rayonnements

Selon la manière dont les rayonnements atteignent l'organisme, on distingue deux modes d'exposition : externe ou interne.

L'exposition externe de l'homme aux rayonnements provoque une irradiation externe. Elle a lieu lorsque celui-ci se trouve exposé à des sources de rayonnements qui lui sont extérieures (substances radioactives sous forme de nuage ou de dépôt sur le sol, sources à usage industriel ou médical ...). L'exposition externe peut concerner tout l'organisme ou une partie seulement de celui-ci. Elle cesse dès que l'on n'est plus sur la trajectoire des rayonnements,

L'exposition interne (contamination interne) est possible lorsque des substances radioactives se trouvent à l'intérieur de l'organisme. Celles-ci provoquent une irradiation interne. Elles ont pu pénétrer par inhalation, par ingestion, par blessure de la peau, et se distribuent dans l'organisme. On parle de contamination interne. Celle-ci ne cesse que lorsque les substances radioactives ont disparu de l'organisme après un temps plus ou moins long par élimination naturelle et décroissance radioactive, ou par traitement.