

Rapport n° CP/RMPF/12.003

Solène BERNAGOUT ¹, Pierre GAREN ², Patrick BOUISSET ¹

Janvier 2012

Rapport de Convention SEOM-Ifremer n° 09/1217973/F

Mise au point d'un réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les eaux lagunaires de Polynésie française par l'utilisation de mollusques sentinelles



¹ IRSN / Laboratoire d'Etude et de Surveillance de l'Environnement, Tahiti

² Ifremer / UR-Ressources Marines en Polynésie française

SOMMAIRE

1	Contexte, objectif.....	2
2	Introduction	4
3	Protocole expérimental	6
3.1	Choix de l'espèce	6
3.2	Transplantation et échantillonnage.....	7
3.3	Les stations expérimentales.....	8
3.4	Traitement des échantillons.....	10
3.5	Paramètres analysés.....	11
4	Résultats	12
4.1	Mortalité, biométrie, Indice de Condition.....	12
4.2	Structure technique d'une station de surveillance.....	14
4.3	Contaminants chimiques dans les huîtres perlières.....	15
4.3.1	Métaux lourds.....	15
4.3.2	Pesticides organochlorés et HAP	18
4.4	Radioactivité dans les huîtres perlières	23
4.4.1	Emetteurs gamma	23
4.4.2	Emetteurs alpha	25
4.5	Analyses des bécotiers prélevés in situ	25
4.6	Analyse d'un sédiment du port de Papeete	29
5	Discussion	30
5.1	Validation biologique des espèces testées.....	30
5.2	Métaux lourds.....	31
5.2.1	Cadmium	31
5.2.2	Mercure	33
5.2.3	Plomb	34
5.2.4	Zinc.....	35
5.2.5	Chrome	37
5.2.6	Fer.....	38
5.2.7	Cuivre	39
5.3	Pesticides organochlorés	41
5.4	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	43
5.5	Radioactivité.....	44
5.5.1	Emetteurs gamma	45
5.5.2	Emetteurs alpha	47
6	Conclusion et perspectives.....	48
7	Références	50
8	Liste des annexes	52
	Annexe 1 : Protocoles analytiques	53
	Annexe 2 : Contaminants chimiques dans l'huître perlière <i>Pinctada margaritifera</i>	55
	Annexe 3 : Contaminants chimiques dans l'huître perlière <i>Pinctada maculata</i>	58
	Annexe 4 : Contaminants chimiques dans les bécotiers <i>Tridacna maxima in situ</i>	60
	Annexe 5 : Contaminants chimiques dans le sédiment du port de Papeete.....	63

1 Contexte, objectif

Les activités humaines sont sources de contamination de l'environnement marin et ont des conséquences sur les écosystèmes et leurs ressources ainsi que sur la santé des populations riveraines. En Polynésie, ces contaminations concernent directement les récifs coralliens qui constituent un écosystème parmi les plus diversifiés de la planète, et qui apparaît également menacé par le changement climatique. Depuis les années 1980, plusieurs études ont été menées sur le secteur littoral de Tahiti et de quelques îles. Elles ont mis en évidence dans l'eau et les sédiments des concentrations notables et très fluctuantes de métaux, pesticides et hydrocarbures [1, 2, 3].

- Des études ponctuelles successives permettent difficilement d'établir diagnostic et tendance des modifications de l'écosystème lagunaire et corallien. Celles-ci ne peuvent être raisonnablement analysées que dans le contexte d'un suivi à long terme qu'il est nécessaire de mettre en place pour mieux en appréhender l'état initial et les changements profonds.
- Le suivi de la radioactivité dans l'environnement en Polynésie française, suite aux retombées des essais nucléaires atmosphériques de 1965 à 1974, est réalisé depuis plusieurs années par l'IRSN avec les méthodes et les appareillages les plus performants dans le domaine de la mesure de traces de radioactivité. Même dans ces conditions, la radioactivité artificielle résiduelle n'est plus mesurée que dans quelques échantillons qui ont un pouvoir de concentration naturelle. C'est le cas du coprah et de la papaye (^{137}Cs) dans le domaine terrestre, des bénéitiers (^{60}Co , Pu) et des mérours (^{137}Cs) dans le milieu marin lagunaire [4]. L'IRSN a décidé d'orienter maintenant ses observations par la mesure de la radioactivité dans des biointégrateurs.

Dans ce contexte, la mise en place d'un réseau d'observation des récifs et de la qualité des eaux lagunaires est souhaitable.

L'objectif général du réseau est d'acquérir, par une observation systématique et coordonnée au niveau de tout le territoire de la Polynésie française, un ensemble de paramètres chimiques, radioactifs, hydrologiques, climatiques et biologiques, communs à tous les sites afin de permettre une étude comparée de séries d'observations. Ces observations à long terme ont pour finalité :

- 1 - de définir pour chaque site une situation de "normalité" à partir de laquelle toute perturbation accidentelle pourra être étudiée ;
- 2 - d'établir les fluctuations annuelles et inter-annuelles, intra-sites et inter-sites ;
- 3 - d'établir les fluctuations communes aux différents sites afin de mettre en évidence les réponses de l'écosystème corallien à des forçages climatiques ou anthropiques globaux et de distinguer entre les deux sources de variabilité ;
- 4 - d'en informer les autorités et services publics compétents.

Des stations d'observation seront définies et progressivement mises en place pour :

- évaluer les pollutions chroniques des écosystèmes littoraux polynésiens basée sur l'utilisation de mollusques bivalves comme intégrateurs des contaminations chimiques et radioactives d'origine anthropique ;
- acquérir les données biologiques décrivant l'écosystème (mesures de diversité, d'abondance, biomasses des différents compartiments biologiques) ;
- collecter les données physiques (températures, salinité mais aussi mesure des courants, des houles, et climatologie).

Une première étape préparatoire au développement d'un tel réseau de surveillance a été permise par la Convention de financement signée avec le MOM en 2009. Le travail correspondant, décrit dans ce rapport, a été réalisé de 2010 à 2011.

2 Introduction

La mesure directe des concentrations de la plupart des polluants dans l'eau s'avère difficile et peu représentative car ils sont généralement présents à des concentrations faibles et très variables. L'utilisation des mollusques bivalves, principalement du genre *Mytilus*, pour l'étude des niveaux et des tendances des contaminations chimiques en eaux côtières a été proposée dès les années 1970 [5]. Ces organismes, filtreurs et sédentaires, possèdent en effet la propriété, en filtrant l'eau pour se nourrir, d'accumuler les contaminants dans leurs tissus en proportion avec leur biodisponibilité dans le milieu. Il en résulte un pseudo-équilibre d'échanges entre mollusque et environnement, basé sur les processus d'absorption, excrétion et accumulation [6]. Ce phénomène de bioaccumulation est exprimé par un facteur de concentration des contaminants entre milieu et organisme pouvant atteindre plusieurs ordres de grandeur, ce qui en facilite l'analyse. Les processus d'accumulation et de décontamination sont longs et le niveau de contamination mesuré de ces organismes permet donc d'évaluer la contamination chronique du milieu.

Le choix de ce projet est de fonder le fonctionnement pérenne d'un réseau d'observation des différentes pollutions anthropiques dans les lagons de Polynésie française sur l'utilisation d'un mollusque bivalve biointégrateur des contaminants.

Certaines études utilisent des populations indigènes de bivalves sauvages ou cultivés [7] alors que d'autres pratiquent la transplantation d'individus provenant d'un même site [8]. Particulièrement dans les eaux de Polynésie, la transplantation peut permettre de résoudre le problème de la faible abondance et de la dispersion des populations sauvages de bivalves. La méthode des transplants permet en outre de contrôler l'origine, l'âge et le stade de maturation sexuelle des individus dans les échantillons. Sa mise en œuvre à une large échelle spatiale, comme elle le serait dans le cadre d'un réseau polynésien, pourrait en revanche dépendre de la variabilité physico-chimique et trophique des sites d'immersion.

Ce réseau doit permettre de mesurer la contamination due aux substances suivantes : éléments radioactifs, métaux lourds, hydrocarbures aromatiques polycycliques (16 HAP), composés organochlorés (dont DDT, HCH, PCB). Nous nous sommes basés pour cela sur la liste des paramètres mesurés dans le réseau métropolitain RINBIO [9] de surveillance du milieu marin mis en œuvre par Ifremer.

La première partie du projet de ce réseau de surveillance des polluants en lagon polynésien, objet de ce rapport, consiste en une approche expérimentale dont le but est de :

- valider l'espèce sentinelle envisagée. L'huître perlière *Pinctada margaritifera* largement disponible en Polynésie, dont la biologie et la physiologie ont été étudiées, a été évaluée ainsi qu'un autre bivalve, l'huître *Pinctada maculata*,
- débiter la détermination des contaminants qui seront mesurés par la suite dans ce réseau et estimer leurs cinétiques d'accumulation par l'espèce retenue,
- commencer à définir, en relation avec les techniques déjà mises en œuvre pour de tels réseaux [4, 10, 11, 12], la méthodologie opérationnelle : structure, nombre et localisation des stations, période et durée d'immersion, prélèvement et traitement des échantillons à adopter.

Des essais de contamination-décontamination des filtreurs ont été menés entre sites réputés « non pollué » (site Ifremer de Vairao à Tahiti) et « pollué » (port de Papeete à Tahiti) où des filières ont été mouillées pendant une durée totale de sept mois.

Une comparaison a également été faite avec des bécotiers sauvages (*Tridacna maxima*) prélevés sur plusieurs îles de Polynésie française.

3 Protocole expérimental

3.1 Choix de l'espèce

Deux espèces d'huîtres perlières ont été testées durant cette étude : l'espèce à lèvre noire *Pinctada margaritifera* et une espèce de plus petite taille, *Pinctada maculata*. Pour des raisons de commodité nous utiliserons dans ce rapport les noms vernaculaires locaux « nacre » pour *P. margaritifera* (figure 1) et « pipi » pour *P. maculata* (figure 2).



Figure 1 : *Pinctada margaritifera*, « nacre »



Figure 2 : *Pinctada maculata*, « pipi »

Les « nacres » *P. margaritifera* sont des mollusques bivalves dont les caractéristiques font de bons candidats pour la mesure de la bioaccumulation. Ce sont des filtreurs de grandes quantités d'eau, jusqu'à 25 L/h/g poids sec [13], vivant fixés ou suspendus dans une large gamme de profondeurs. Ils ont en outre déjà été testés et utilisés comme bio-intégrateurs de contaminations du milieu [14].

Les deux espèces ont été retenues en raison de leur grande disponibilité en Polynésie française où elles sont en effet largement présentes dans les lagons, naturellement et en élevage. La plus grande, *P. margaritifera*, y est cultivée pour la production de perles noires de Tahiti. La plus petite, *P. maculata* se fixe naturellement sur les filières d'élevage de la première. Elles sont donc toutes les deux facilement implantables sur une filière de sub-surface. L'importance économique de la perliculture en Polynésie française a conduit à mener plusieurs programmes de recherche pour soutenir cette activité. La biologie et la physiologie de ces deux bivalves ont, par ailleurs, été largement étudiées en particulier au Centre Ifremer du Pacifique à Tahiti. [15].

Tous les individus utilisés proviennent pour chaque espèce du même atoll des Tuamotu.

Les « nacres » faisaient partie de la même cohorte en élevage (même âge, même filière) dans une seule ferme de Takaroa où elles ont été prélevées. Un lot de 1220 individus vivants a été expédié en glacière à sec, non réfrigérée, par avion de Takaroa à Tahiti le 11 mars 2010. Le trajet s'est terminé en voiture jusqu'à Vairao, où les animaux ont été mis en bac en eau de mer courante, le transport ayant duré environ 8 heures. Les animaux ont été mesurés et leur hauteur moyenne était de $101,4 \pm 8,3$ mm et leur poids total humide de $165,5 \pm 28,5$ g.

Les « pipi » faisaient partie d'une même cohorte de sur-fixation sur collecteurs de « nacres » à Takapoto. Deux lots de 4100 et 2000 individus vivants ont été expédiés en glacière de

Takapoto à Tahiti les 25 février et 9 mars 2010. Les conditions de trajet et de mise en eau se sont déroulées de la même manière que pour les « nacres ». Les animaux mesurés avaient une hauteur moyenne de $35 \pm 2,9$ mm et un poids total humide de $13,7 \pm 2,5$ g.

3.2 Transplantation et échantillonnage

L'un des objectifs de l'étude est d'estimer les cinétiques de contamination / décontamination des tissus du mollusque par les différents polluants considérés. Dans notre étude, il a été décidé de disposer les lots d'animaux bioindicateurs des 2 espèces étudiées pendant 4 mois en milieu supposé « pollué » où ils ont pu accumuler les polluants puis pendant 3 mois en milieu supposé « non pollué » où ils ont pu les éliminer.

Deux lots d'échantillons témoins ont été laissés sur le site de référence réputé «non pollué» pour être analysés après 4 mois d'immersion, puis pour comparaison en fin d'étude après 7 mois d'immersion.

La fréquence des prélèvements a été établie à 14 jours.

Après avoir été maintenus en eau pendant environ 14 heures après leur arrivée à Vairao, les animaux ont été triés un par un, nettoyés de leurs épibiontes et répartis en paniers d'élevage pour constituer les lots échantillons de l'étude. Dix sept lots de chaque espèce *P. margaritifera* et *P. maculata* ont été constitués en paniers « Aquapurse » habituellement utilisés pour les élevages Ifremer.

Pour les « nacres », *P. margaritifera*, 30 individus vivants ont été disposés par panier. Treize lots de 30 individus ont été constitués ainsi que 4 lots de 150 individus. Ces 4 lots ont été préparés afin de réaliser, outre les autres analyses, la mesure de la concentration en plutonium (Pu) par spectrométrie alpha.

Pour les « pipi » *P. maculata*, les paniers d'élevage contenaient 160 individus. Treize lots de 160 individus ont été constitués ainsi que 4 lots de 900 individus pour les mesures du Pu.

La taille de ces lots échantillons a été établie à 30 individus minimum pour les « nacres » et 160 pour les « pipi » pour avoir suffisamment de matière à analyser. Cet effectif a surtout été choisi pour minimiser le facteur de maturation gonadique et donc le risque de biaiser la bioaccumulation. La maturation des deux espèces d'huîtres perlières se fait en effet tout au long de l'année et, dans un même lot d'effectif suffisant, on pourra trouver tous les stades de la gamétogénèse de la gonade vide à la gonade prête à pondre.

Après leur préparation, les paniers contenant les 2 espèces d'huîtres perlières ont été aussitôt transférés sur la filière Ifremer de Vairao en attente de leur mise en place sur les deux stations où elles ont été immergées le 16 mars 2010.

Un premier lot « source » constituant un point zéro a été prélevé et mesuré avant immersion sur les stations expérimentales.

Le 6 juillet 2010, tous les lots restant à la station « polluée » ont été transférés sur le site de référence de Vairao. Les retraits d'échantillons de la station « non polluée » ont été poursuivis tous les 14 jours jusqu'au 29 septembre 2010.

Des données provenant de bénitiers fixés sur substrat naturel et prélevés dans le cadre du suivi de la radioactivité du LESE ont été ajoutées à titre de comparaison à l'étude des transplants d'huître perlière.

Egalement, un échantillon de sédiment a été prélevé le 24 février 2010 au port de Papeete sous la filière de nacres à 16 mètres de profondeur pour une mesure des mêmes contaminants chimiques et radioéléments, de manière à disposer d'une autre référence environnementale.

3.3 Les stations expérimentales

Deux sites ont été sélectionnés pour cette étude (figure 3), l'un en zone supposée « polluée » et l'autre en zone supposée « non polluée ».

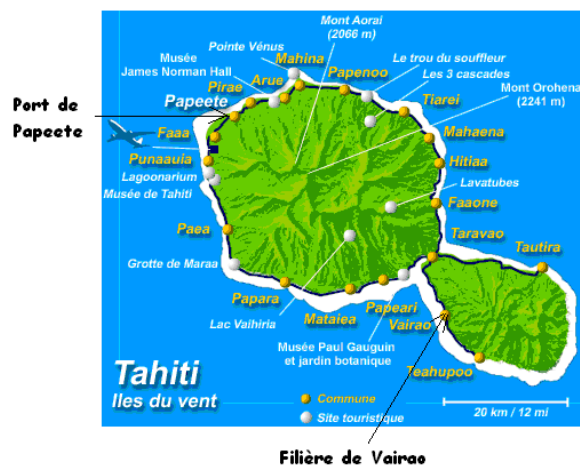


Figure 3 : Localisation des 2 filières implantées à Tahiti

- La station réputée « polluée » a été choisie dans le port de Papeete, situé en centre ville dans la plus grande zone urbaine de Tahiti. L'emplacement de la station expérimentale de surveillance a été déterminé en concertation avec les autorités du port autonome. Les emplacements qui nous ont été proposés ont été évalués en fonction des informations connues sur la profondeur disponible, la circulation d'eau, l'apport d'eau douce et les sources potentielles de polluants. La localisation de la station a été choisie dans la zone située près du stockage des containers du port (figure 4), en sortie de la masse des eaux portuaires, mais pas trop près de la passe. Ses coordonnées géographiques sont : 17°32'18" S et 149°34'40" O. La profondeur y est de 18 mètres.
- La station réputée « non polluée » a été choisie sur le site de la concession perlicole d'Ifremer dans le lagon de Vairao sur la presqu'île de Tahiti. Sur ce site, en effet, sont implantées les filières d'élevage des « nacres » nécessaires aux programmes de recherche d'Ifremer. Il est caractérisé par une situation géographique éloignée des principales activités humaines, dans une région relativement peu peuplée, bien qu'agricole. Le renouvellement de la masse d'eau du lagon, lié à de fortes entrées par dessus le récif et une sortie par la passe la plus profonde de Tahiti se fait en 24 heures environ. Les coordonnées géographiques de la station sont : 17°48'25" S et 149°17'58" O (Ifremer, figure 5). La profondeur y est de 30 mètres.

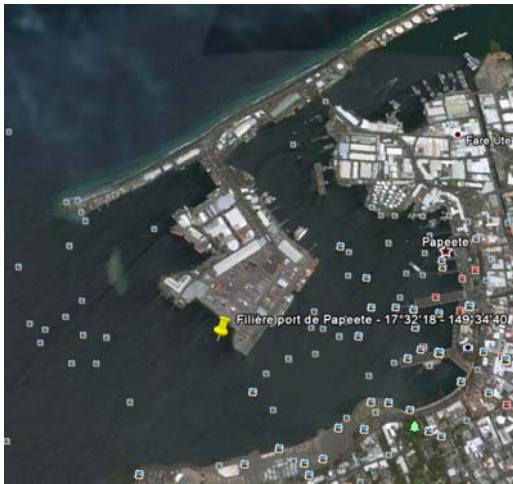


Figure 4 : Localisation de la filière implantée au port de Papeete (image Google)



Figure 5 : Localisation de la filière implantée dans le lagon de Vairao en face du centre Ifremer (image Google)

Au port de Papeete (figure 6), une filière d'environ 30 mètres de longueur a été mouillée à environ 5 - 6 mètres de profondeur.

L'ensemble du matériel a été apporté sur site par les embarcations hors-bord légères de 5 m d'Ifremer et du LESE. Deux corps morts de 150 kg en béton ont été positionnés au fond par des plongeurs en bouteille qui ont ensuite gréé sur les corps morts les bouées et cordages nécessaires à la mise en place de la filière.

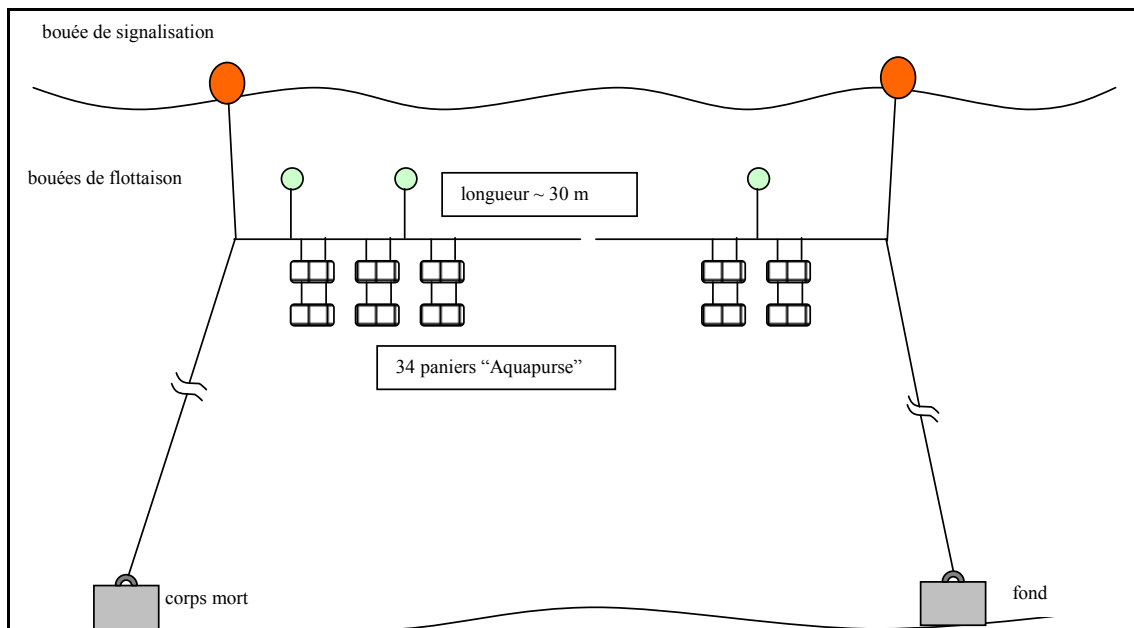


Figure 6 : Schéma de la filière expérimentale mise en place au port de Papeete

Les paniers contenant les lots échantillons de mollusques ont été disposés par deux le long de la filière (figure 7). A partir d'un bateau et à l'aide d'un grappin, les paniers mouillés peuvent ainsi être récupérés aisément.



Figure 7 : Disposition des paniers de « nacres » ou « pipi » sur les filières de Papeete et de Vairao

A Vairao, un emplacement a été réservé sur une des filières d'élevage, à la profondeur de 5 m environ. Les paniers contenant les lots échantillons de mollusques y ont été disposés de la même manière que sur la filière du port.

3.4 Traitement des échantillons

Sur site, les lots échantillons sont prélevés sur la filière et rapidement brossés et rincés en eau de mer. Ils sont transportés en glacière à sec vers le laboratoire de Vairao. A leur arrivée, les coquilles des bivalves sont grattées puis les animaux sont placés entiers dans des bacs au réfrigérateur où les muscles se relâchent. Dans les 24 h qui suivent les prélèvements, les coquilles d'un même lot sont ouvertes en une même série à l'aide de couteaux en inox. Les chairs sont détachées avec précaution de la coquille et les byssus sont éliminés. Les chairs sont mises à égoutter sur entonnoir de Buchner en porcelaine au minimum 30 minutes sous une hotte à extraction (Captair 5008C).

Après égouttage, les chairs sont disposées en boîtes de Pétri en verre et mises en congélation. Les échantillons sont ensuite lyophilisés au minimum 48 h (Cryotec Cosmos 20K) et les chairs sont ultérieurement broyées à l'aide d'un broyeur ménager à hélice inox avec bol en verre (Kitchen Aid ultrapower).

L'étiquetage des échantillons porté sur les contenants est suivi et contrôlé tout au long des opérations. Il permet de retrouver la date, l'espèce et la station leur correspondant.

Pour les échantillons standards, une partie de l'échantillon sec, soit environ 20 g, mise en pilulier fermé d'une feuille d'aluminium et d'un bouchon, est destinée aux analyses chimiques. L'autre partie, environ 20 à 25 g, est mise en conteneur spécifique pour une mesure de radioactivité par spectrométrie gamma (γ) GeHP.

Pour les échantillons Pu, mesurés en spectrométrie alpha (α), une plus grande quantité de chair sèche est nécessaire (minimum 250 g) afin d'être calcinée puis traitée en radiochimie pour en extraire le plutonium (Pu).

L'ensemble de ces manipulations de dissection, égouttage, emballage, protection, est réalisé de manière spécifique décrite dans le protocole de prélèvement RNO 2007 d'Ifremer [11] pour les analyses chimiques. En particulier :

- des gants en nitrile sont utilisés pour la manipulation des échantillons ;
- le matériel de laboratoire est nettoyé avec un détergent spécial sans phosphate, puis rincé à l'eau déminéralisée ;

- la verrerie et des feuilles d'aluminium sont calcinées (minimum 8 h à 450°C) avant utilisation et manipulées avec des gants en coton.

3.5 Paramètres analysés

Le nombre d'individus morts de chaque lot a été enregistré et la mortalité calculée pour chaque échantillon entre sa collecte et la mise à l'eau initiale.

Les masses de chairs fraîches après égouttage, de chairs sèches après lyophilisation ont été mesurées (balance Gibertini Europe 500, d = 0,001 g) et enregistrées. De même, les coquilles correspondant aux chairs utilisées dans l'échantillon ont été séchées à l'étuve pendant 2 heures à 110°C, puis pesées et les données enregistrées. L'indice de condition global (poids sec de chair / poids sec de coquilles) a été calculé sur la totalité des échantillons standards et sur un sous échantillon des échantillons Pu. Les valeurs de pesée sont indiquées en g p.s. (gramme de poids sec) et en g p.f. (gramme de poids frais).

Sur le même schéma que le suivi RINBIO [9, 10, 11], des procédures standardisées ont été utilisées pour mesurer :

- les concentrations de 7 métaux lourds (cadmium, chrome, cuivre, fer, mercure, plomb et zinc) ;
- les concentrations en contaminants organiques : pesticides organochlorés (dont PCB, lindane et DDT) et 16 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques ;
- la radioactivité gamma et alpha (Pu).

Les protocoles chimiques analytiques, les limites de détection correspondantes et les incertitudes des résultats sont fournis en annexe 1. Ces analyses ont été réalisées par le Laboratoire de Rouen (<http://www.laborouen.com/>).

Les mesures de radioactivité ont été réalisées en Polynésie française par le LESE, laboratoire de l'IRSN, qui dispose d'équipements et de protocoles analytiques adaptés à la mesure de traces d'éléments radioactifs :

- spectrométrie γ haute résolution bas bruit de fond (dosage de ^{137}Cs et ^{60}Co) en mesures directes ;
- spectrométrie α (PIPS) pour les isotopes du plutonium (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$) après radiochimie sélective [16].

Les valeurs des concentrations mesurées pour les différents paramètres sont rapportées au poids frais (p.f.) et au poids sec (p.s.) de chair analysée.

4 Résultats

Le choix des stations réputées « polluée » et « non polluée » a été fait en début d'étude. Dans tous les tableaux et texte qui suivent, ces sites sont respectivement nommés « port PPT » ou « Papeete » et « Vairao ». Le site d'origine des huîtres perlières, correspondant au début d'expérimentation, est identifié « Takaroa » pour les « nacres » et « Takapoto » pour les « pipi ».

4.1 Mortalité, biométrie, Indice de Condition

Le Tableau 1 ci-dessous présente la liste des échantillons collectés pour chacune des deux espèces d'huîtres perlières, avec les effectifs traités de chaque échantillon. Du 16 mars au 6 juillet 2010, les animaux ont séjourné sur la filière du port de Papeete ; du 20 juillet au 28 septembre, ils étaient sur la filière de Vairao après une première phase sur la filière de Papeete ; les témoins T0, T4 et T7 sont restés toute la durée de l'expérimentation sur la filière de Vairao. Un tiret indique qu'il n'y a pas eu d'échantillon collecté.

Tableau 1 : Echantillons collectés de « nacres » et « pipi »

Date	« nacre »			« pipi »				
	Echantillon		Témoin	Echantillon		Témoin		
16-mars	Takaroa - T0 : 161			Takapoto - T0 : 920				
30-mars	Port PPT	58	-	Port PPT	132	-		
13-avr	Port PPT	55	-	Port PPT	133	-		
27-avr	Port PPT	30	-	-	-	-		
11-mai	Port PPT	30	-	Port PPT	159	-		
25-mai	Port PPT	30	-	-	-	-		
08-juin	Port PPT	30	-	Port PPT	154	-		
22-juin	Port PPT	27	-	-	-	-		
06-juil	Port PPT	150	T4	28	-	160	T4	180
20-juil	Vairao	30	-	Vairao	155	-	-	-
03-août	Vairao	26	-	Vairao	164	-	-	-
17-août	Vairao	25	-	Vairao	146	-	-	-
31-août	Vairao	30	-	-	-	-	-	-
14-sept	Vairao	30	-	-	-	-	-	-
28-sept	Vairao	132	T7	78	Vairao	212	T7	258

Les échantillons sont restés entre 2 et 28 semaines en eau. Les valeurs de mortalité quotidienne, calculées par le rapport de la mortalité totale du lot au nombre de jours sur station, ont été utilisées (figure 8) pour faciliter la comparaison sur ces temps différents et pour les deux espèces.

En ce qui concerne les « nacres », la valeur la plus élevée de 0,3%/j a été atteinte durant le premier mois de stabulation. La mortalité a ensuite progressivement diminué de manière relativement continue jusqu'à 0,06%/j sur le dernier échantillon (moyenne de 0,07%/j sur les six derniers mois). La mortalité absolue la plus élevée sur un échantillon a été de 16,7% à 154 jours, mais de 12,0% seulement sur le dernier échantillon relevé à 196 jours.

La mortalité a été beaucoup plus élevée sur les « pipi », d'un ordre de grandeur 10. On constate une mortalité supérieure à 0,8%/j à la mise en eau initiale qui a ensuite oscillé entre 0,1 et 0,4%/j. Il faut noter que cette forte mortalité (jusqu'à 60% à 112 jours en fin de première phase, jusqu'à 54% uniquement en seconde phase de 84 jours) nous a obligé, pour

conserver des échantillons d'effectifs suffisants, à regrouper plusieurs lots et à annuler cinq prélèvements. En particulier, tous les animaux vivants disponibles à la date du transfert à Vairao ont été regroupés et les lots reconstitués. La mortalité en deuxième phase a été comptabilisée par rapport à la date de ce transfert et les valeurs ont été extrapolées à la durée totale de l'expérimentation et portées sur le graphique. Parallèlement, à cause du manque de matière disponible sur certains échantillons, trois analyses de « pipi » en Pu n'ont pu être effectuées et seul le premier prélèvement d'échantillons avant mise en station a été mesuré en spectrométrie α .

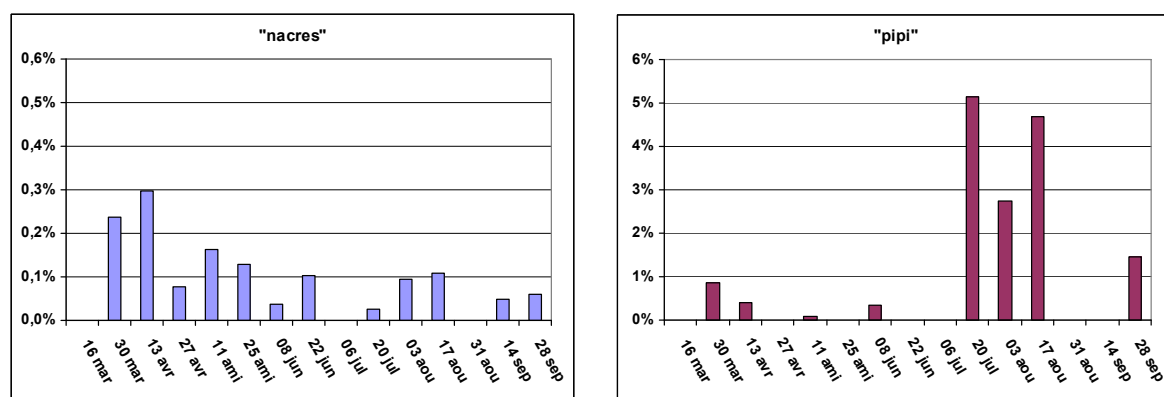


Figure 8 : Mortalité quotidienne (en %/j) dans les échantillons « nacres » et « pipi »

Les valeurs de l'indice de condition (IC) sont portées pour les deux espèces sur les graphiques de la figure 9. L'indice de condition moyen des « nacres » a été de 0,021 avec un CV de 6,5% pour les échantillons et de 7% pour les témoins. Les valeurs d'IC ont été relativement stables durant toute l'expérimentation et cohérentes entre échantillons et témoins.

L'indice de condition moyen des « pipi » a été de 0,025 avec un CV de 15% pour les échantillons et de 0,026 et un CV de 26% pour les témoins. L'IC subit une chute brutale dès le premier mois d'étude, autant sur les échantillons que sur les témoins restés à Vairao, dont les évolutions ont été cohérentes.

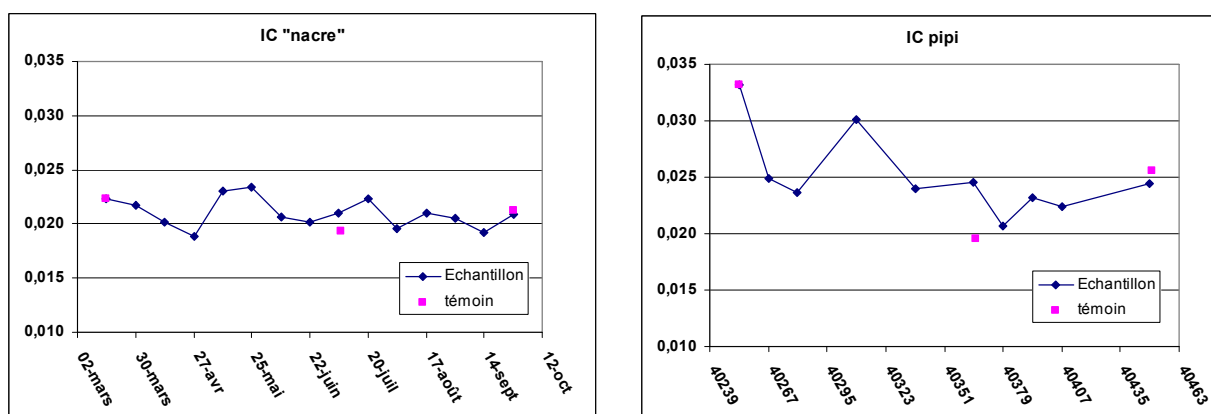


Figure 9 : Indice de Condition (IC) des « nacres » et « pipi »

Les graphiques de la figure 10 montrent l'évolution au cours de l'étude des poids frais individuels de chair pour les deux espèces. Pour les « nacres », les valeurs moyennes pour les échantillons et pour les témoins sont respectivement de 13,9 g avec un CV de 11,7% et de 14,7 g avec un CV de 11,7%. Les variations autour de la moyenne ont été plus importantes

durant la première phase à Papeete que pendant la seconde à Vairao. Il n'apparaît pas sur la totalité de l'expérience de tendance de croissance ni diminution de la masse de chair.

En ce qui concerne les « pipi », la valeur moyenne du poids frais individuel est de 1,3 g avec un CV de 23,3% pour les échantillons et de 1,5 g avec un CV de 31,9% pour les témoins. Outre cette différence, une baisse brutale du poids frais apparaît dès le second échantillon et la diminution de poids des échantillons se poursuit sensiblement jusqu'à la fin de l'étude, après une chute initiale du poids frais individuel et du poids sec individuel, de 2 g à 1,4 g et de 0,33 g à 0,23 g respectivement, une tendance continue à la baisse persiste jusqu'à la fin de l'étude.

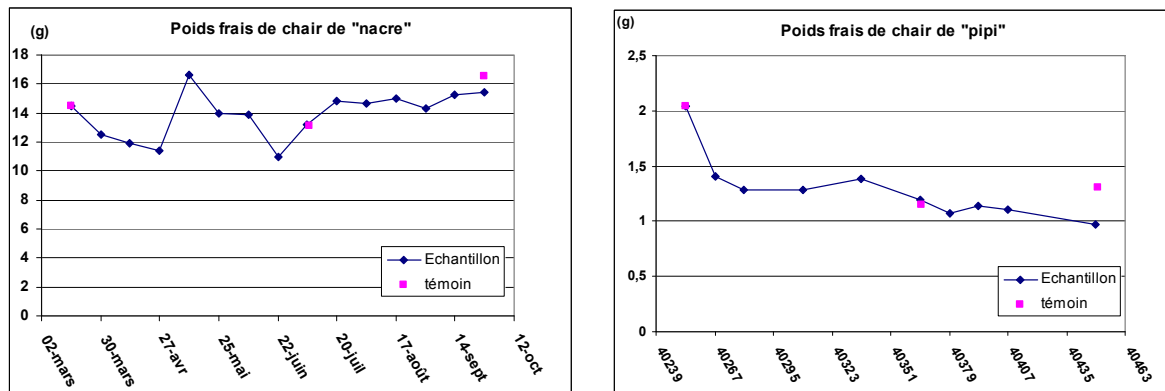


Figure 10 : Poids frais individuel de chair de « nacre » à gauche et de « pipi » à droite

4.2 Structure technique d'une station de surveillance

La filière mise en place dans le port de Papeete était essentiellement une filière expérimentale, destinée à supporter les nombreux lots requis pour un plan d'échantillonnage de sept mois. Les stations à mettre en œuvre dans le futur réseau seront plus simples puisque appelées à supporter un ou deux échantillons seulement. L'expérience acquise au cours de cette étude a permis de définir une structure pour les futures stations.

Un corps mort de 150 kg est disposé sur le fond, avec ou sans l'aide de plongeurs, selon la profondeur de mouillage. Un orin de polypropylène y est fixé par l'intermédiaire d'une chaîne en acier. L'orin, maintenu par une bouée de flottaison de 6 litres à 6 m de la surface, supporte une tringle coulissante sur laquelle sont suspendus les paniers d'échantillons. Le système coulissant permet en les agrippant de remonter directement en surface les paniers à prélever (ce système devra néanmoins être validé par l'usage). La filière est signalée en surface par une bouée de flottaison de 23 litres. L'ensemble est aisé à mettre en œuvre et peut avoir hors conditions exceptionnelles une durée de vie de plusieurs années.

Les paniers verticaux « kangaroo » testés n'ont pas donné satisfaction dès le premier jour d'expérimentation, leurs mailles se déchirant au contact des coquilles de « nacres ». En revanche les paniers « Aquapurse » déjà utilisés sur les filières de la concession Ifremer ont bien répondu aux attentes, et seront employés pour les futures stations.

Une station de ce type a été mise en place en fin d'étude, première station du futur réseau.

4.3 Contaminants chimiques dans les huîtres perlières

Les résultats d'analyses en contaminants chimiques : métaux lourds, pesticides organochlorés et hydrocarbures sont présentés en annexe 2 pour les « nacres » (*P. margaritifera*) et en annexe 3 pour les « pipi » (*P. maculata*).

4.3.1 Métaux lourds

Les figures 11 et 12 présentent les concentrations de 7 métaux lourds (Cd, Hg, Pb, Zn, Cr, Fe et Cu) dans les 2 espèces d'huîtres perlières étudiées, *P. margaritifera*, « nacre » et *P. maculata*, « pipi », au cours des 7 mois d'étude. Le trait pointillé bleu porté sur les graphiques indique le transfert après 4 mois des lots de la station « polluée » vers la station « non polluée ».

Pour 3 métaux lourds toxiques mesurés, le cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le plomb (Pb), les teneurs maximales admises dans les denrées alimentaires, données par les règlements CE 466/2001 et CE 221/2002 [17] pour les mollusques bivalves, sont portées sur les graphiques correspondants. Ce sont Cd = 5 mg/kg p.s., Hg = 2,5 mg/kg p.s., Pb = 7,5 mg/kg p.s.. Il n'y a pas de seuils admissibles recommandés pour les autres métaux.

Dans les « nacres », le Cd est présent à des teneurs supérieures à la réglementation CE (5 mg/kg p.s.) pour la consommation des coquillages. Les teneurs sont en moyenne 10 fois supérieures pour les « pipi ». Ces teneurs élevées, observées dès les mesures initiales, tendent à diminuer fortement sur le site de Papeete puis se stabiliser sur le site de Vairao.

Les concentrations en Hg et en Pb sont largement en dessous du seuil pour la consommation humaine des huîtres en métropole et varient très peu. Les teneurs en Hg sont de l'ordre de 0,05 mg/kg p.s. pour les 2 espèces d'huîtres perlières étudiées et de 0,1 (limite de détection) à 0,4 mg/kg p.s. en Pb.

Les teneurs en zinc (Zn) dans les « nacres » montrent une tendance à la hausse, entre 2 000 et 3 000 mg/kg p.s. durant la première phase au site de Papeete suivie d'une tendance à la baisse après le transfert sur le site de Vairao, tandis que les teneurs dans les témoins restent stables. Parallèlement la teneur en Zn augmente en première phase pour atteindre 4120 mg/kg p.s. dans les « pipi », puis diminue légèrement en seconde phase. Les teneurs en témoins ont une évolution similaire.

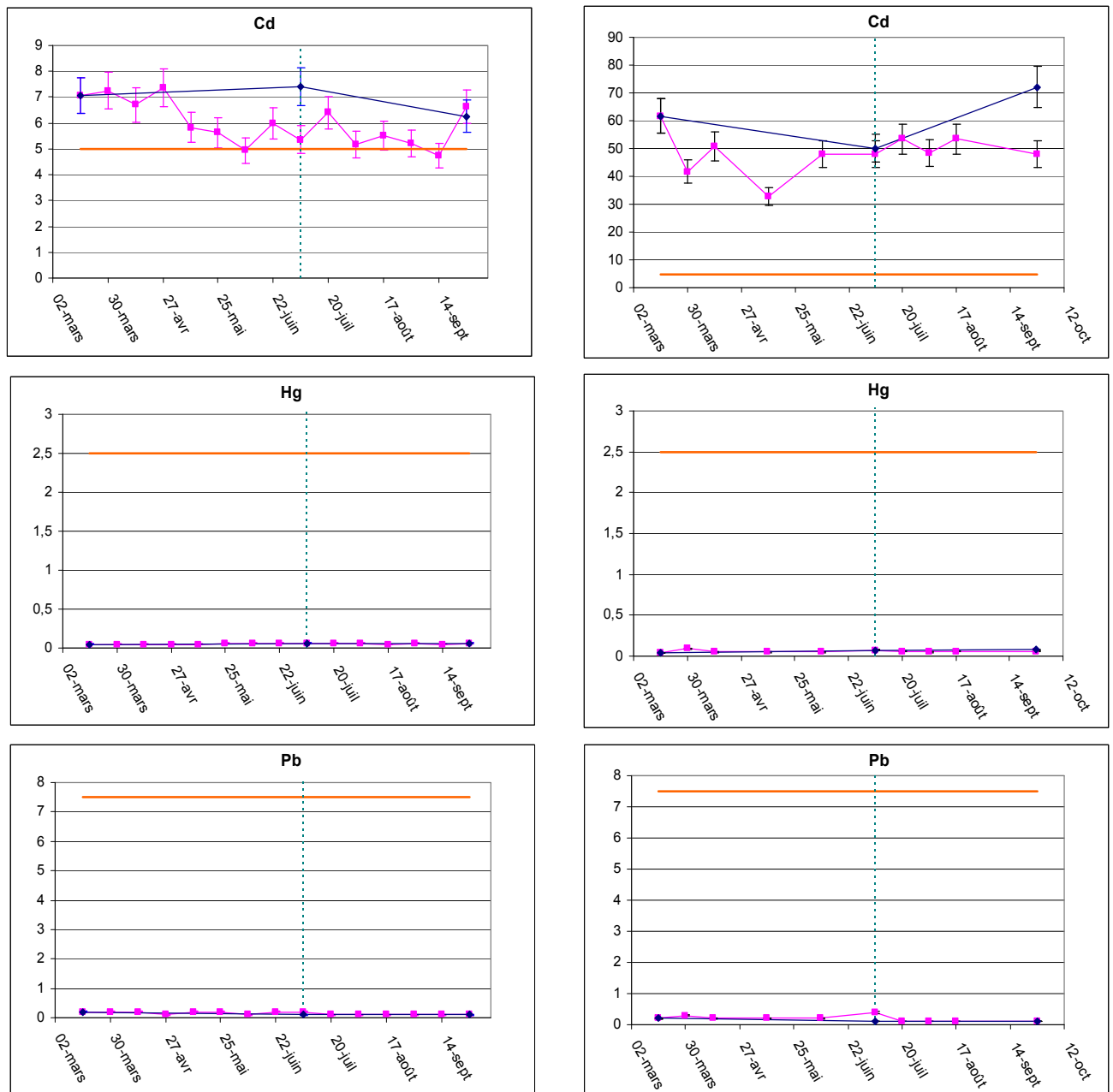


Figure 11 : Teneurs en cadmium, mercure et plomb dans les « nacres » à gauche et les « pipi » à droite, exprimées en $\mu\text{g/kg}$ de poids sec de chair. — seuil CE ; \blacklozenge : témoin ; transfert à Vairao

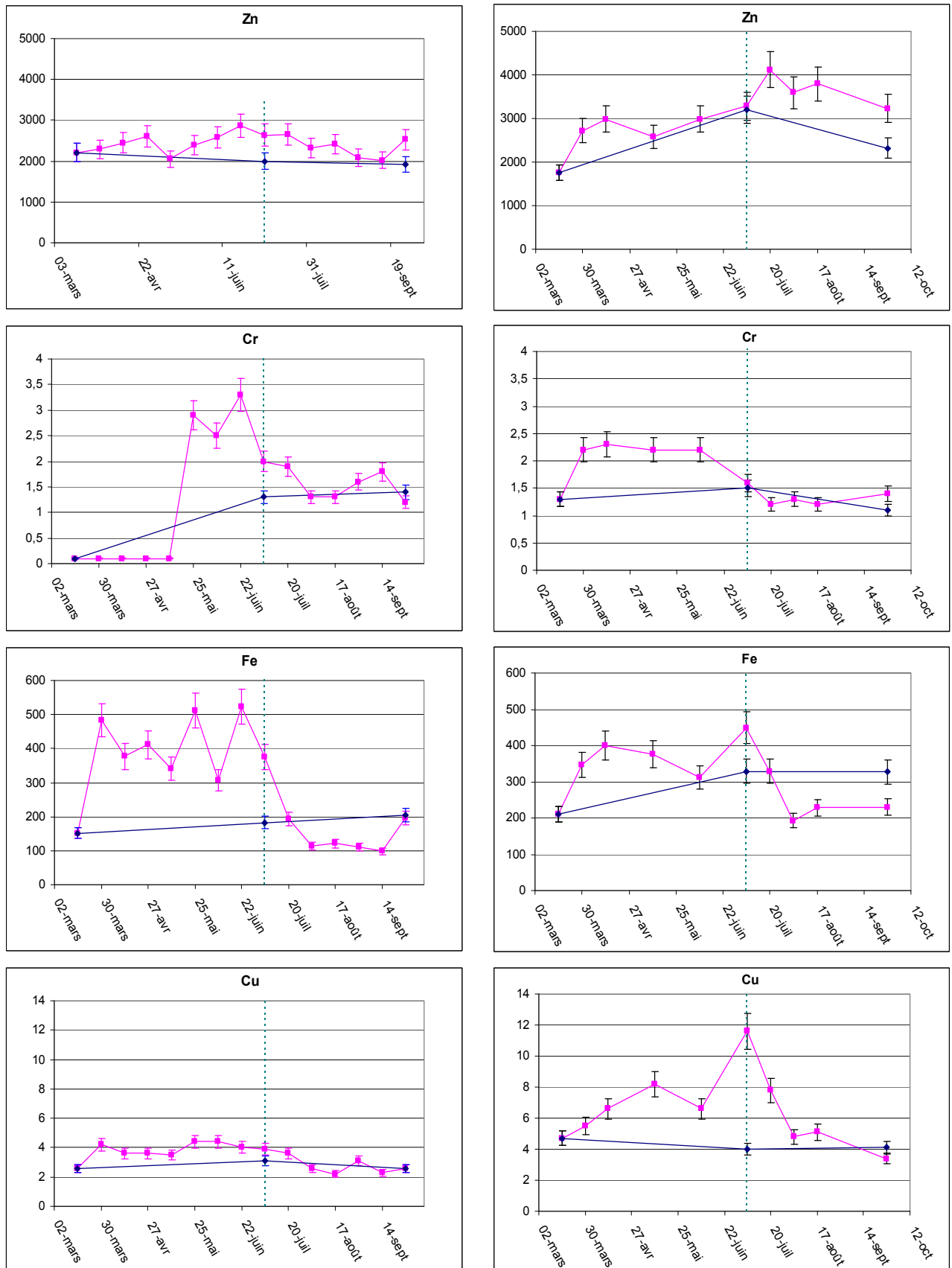


Figure 12 : Teneurs en zinc, chrome, fer et cuivre dans les « nacs » à gauche et les « pipi » à droite, exprimées en µg/kg de poids sec de chair. — seuil CE ; ◆ : témoin ; transfert à Vairao

A l'arrivée des échantillons de « nacre » et durant les 2 premiers mois de leur mouillage au port de Papeete, la teneur en chrome (Cr) est inférieure à la limite de détection de 0,1 mg/kg p.s. Cette teneur augmente ensuite pendant 6 semaines. Les 3 valeurs mesurées sont comprises entre 2,5 et 3,3 mg/kg p.s. La teneur en Cr est mesurée à une valeur plus faible, 2,0 mg/kg p.s. lors du dernier prélèvement au port. Elle diminue ensuite dans les 2 prélèvements du premier mois à Vairao et se stabilise à un niveau équivalent (1,3 mg/kg p.s.) à celui du témoin resté à Vairao.

A l'arrivée des échantillons de « pipi », la teneur en Cr est de 1,3 mg/kg p.s. L'échantillon témoin à Vairao garde cette teneur durant les 4 mois d'immersion. En revanche, comme pour les « nacres », la teneur augmente significativement (2,2 mg/kg p.s.) sur les échantillons immergés dans le port. On observe, comme pour les « nacres », une nette diminution de cette teneur pour le dernier prélèvement au port puis une stabilisation lors de leur transfert à Vairao au même niveau que le témoin.

Les teneurs en fer (Fe) des « nacres » augmentent d'une valeur initiale de 150 à 480 mg/kg p.s. après 14 jours d'immersion au port de Papeete. Pendant les 4 mois d'immersion au port ces teneurs varient entre 300 et 500 mg/kg p.s. Dès le transfert des « nacres », du port sur le site de Vairao, la teneur diminue à 200 mg/kg p.s. pour l'échantillon mesuré 2 semaines plus tard puis vers 100 mg/kg p.s. pour les 4 échantillons prélevés durant les 8 semaines suivantes. Le dernier prélèvement indique à nouveau une teneur à 200 mg/kg p.s., identique à celle du témoin resté sur site depuis le début de l'expérience.

Ces variations de teneurs en Fe sont aussi observées pour les « pipi » mais avec des extremums moins prononcés.

Les teneurs en cuivre (Cu) doublent approximativement (2,6 à 4,2 mg/kg p.s.) pour les « nacres » dès l'immersion dans le port et s'y maintiennent ensuite à ce niveau. A leur arrivée, les « pipi » ont une teneur initiale déjà 2 fois plus élevée que celle des « nacres » (4,7 mg/kg p.s.), et leur teneur en Cu va cependant augmenter régulièrement pour atteindre 11,6 mg/kg p.s. au transfert. Pour les 2 espèces, les teneurs diminuent ensuite rapidement dès leur transfert à Vairao pour atteindre en quelques semaines les teneurs mesurées dans les témoins restés sur site.

4.3.2 Pesticides organochlorés et HAP

Sur les 37 organochlorés analysés, seuls sont présentés en annexe ceux pour lesquels une valeur au moins est supérieure au seuil de détection pour l'une quelconque des deux espèces d'huître perlière. Les autres paramètres ne sont pas reportés. Les résultats sont par contre donnés pour les 16 HAP analysés.

Pour les « nacres », 7 organochlorés (dieldrine, aldrine, isodrine, acétochlore, propyzamide, procymidone et DDT pp) présentent quelques valeurs notables et uniquement 1 mois après le retour en station dite « non polluée » sur une série de 4 échantillons du 3 août au 14 septembre (surlignés en jaune dans le tableau 2). Les concentrations de ces polluants sont en dessous des seuils de détection dans tous les autres échantillons.

Tableau 2 : Concentrations de 7 organochlorés dans les « nacres », exprimées en µg/kg de poids sec de chair.

Lieu	Date	dieldrine		aldrine		isodrine		acétochlore		propyzamide		procymidone		DDT pp	
		éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.
Takaroa	16-mars	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 1,0	< 1,0
port PPT	30-mars	< 1,0		< 1,0		< 1,0		< 10,0		< 10,0		< 10,0		< 1,0	
port PPT	13-avr	< 1,0		< 1,0		< 1,0		< 10,0		< 10,0		< 10,0		< 1,0	
port PPT	27-avr	< 1,0		< 1,0		< 1,0		< 10,0		< 10,0		< 10,0		< 1,0	
port PPT	11-mai	< 1,0		< 1,0		< 1,0		< 10,0		< 10,0		< 10,0		< 1,0	
port PPT	25-mai	< 1,0		< 1,0		< 1,0		< 10,0		< 10,0		< 10,0		< 1,0	
port PPT	08-juin	< 1,0		< 1,0		< 1,0		< 10,0		< 10,0		< 10,0		< 1,0	
port PPT	22-juin	< 1,0		< 1,0		< 1,0		< 10,0		< 10,0		< 10,0		< 1,0	
port PPT	06-juil	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 1,0	< 1,0
Vairao	20-juil	< 1,0		< 1,0		< 1,0		< 10,0		< 10,0		< 10,0		< 1,0	
Vairao	03-août	1,6		1,2		4,2		74,1		15,6		27,4		9,6	
Vairao	17-août	3,1		1,6		2,6		35,8		21,8		< 10,0		1,4	
Vairao	31-août	2,8		1,5		6,5		61,7		21,4		25,9		11,1	
Vairao	14-sept	2,7		1,5		3,3		49,3		20,6		18,6		11,4	
Vairao	28-sept	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 1,0	< 1,0

Dans les « pipi », par contre, 16 organochlorés ont été détectés dans plus de 2 échantillons au moins. Les concentrations mesurées permettent de classer les polluants en trois groupes (figures 13 et 14) qui évoluent différemment par rapport à la concentration de la source. Dans un premier groupe, bleu, (dieldrine, endosulfan β , acétochlore, alachlore, DDT pp), les concentrations dans les témoins sont stables ou diminuent légèrement par rapport à la source, alors que les concentrations en échantillons varient de manière apparemment aléatoire aux deux stations.

Dans un second groupe, jaune, (endrine, endosulfan α , DDE pp, PCB 153), les concentrations dans les témoins sont stables par rapport à la source, tandis que les concentrations en échantillons augmentent durant le séjour à la station dite « polluée » puis diminuent après le retour à la station dite « non polluée » pour rejoindre les valeurs des témoins.

Dans le troisième groupe, orange, (aldrine, isodrine, propyzamide, procymidone, heptachlore epoxy exo, heptachlore epoxy endo, PCB 52) les concentrations des témoins et celles des échantillons augmentent par rapport à la source en première phase puis se stabilisent en seconde phase.

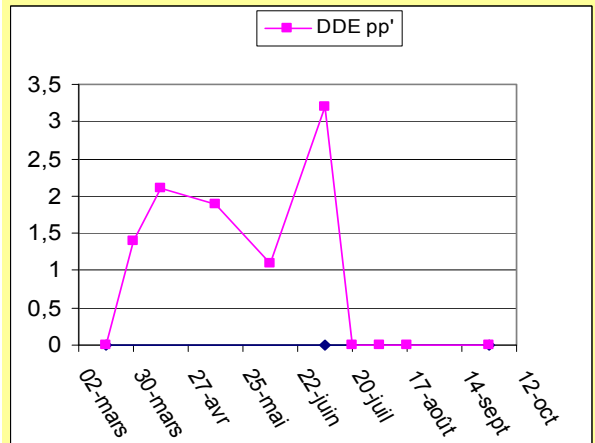
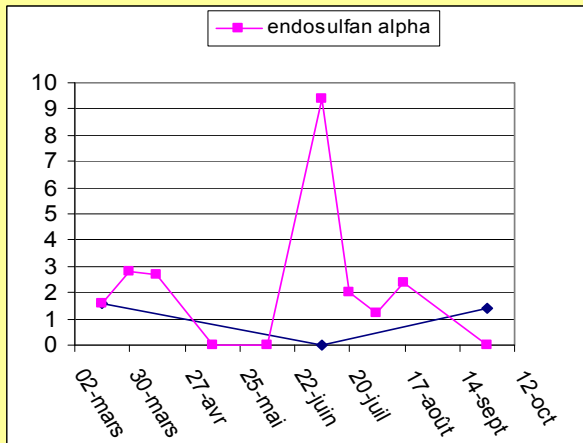
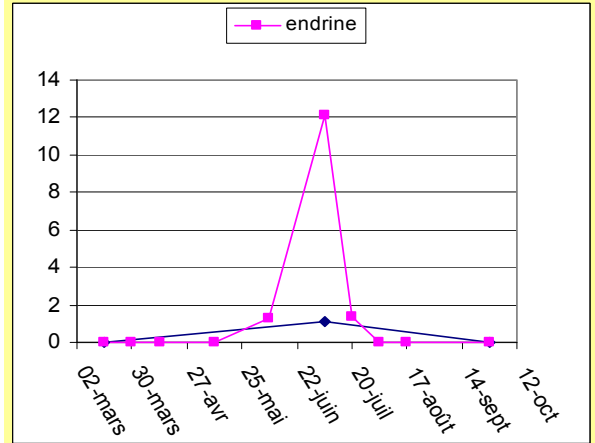
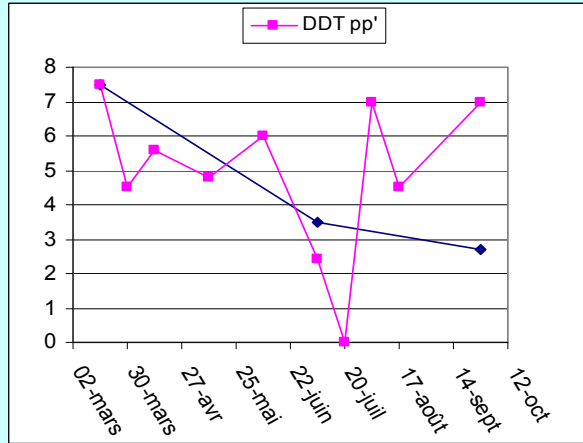
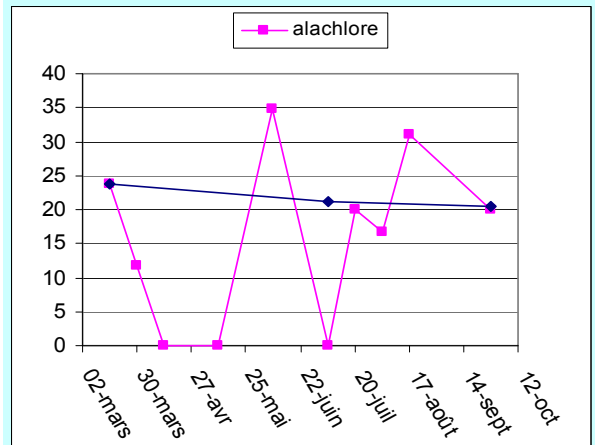
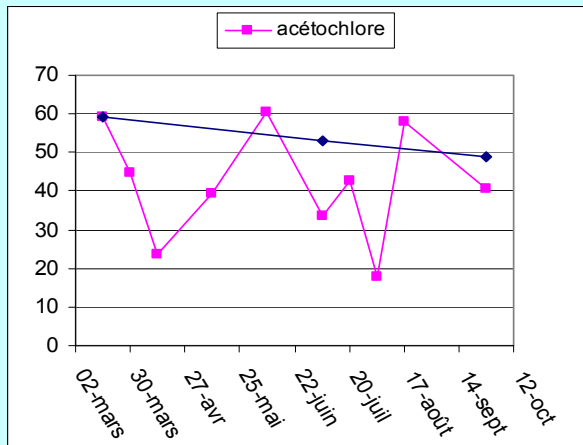
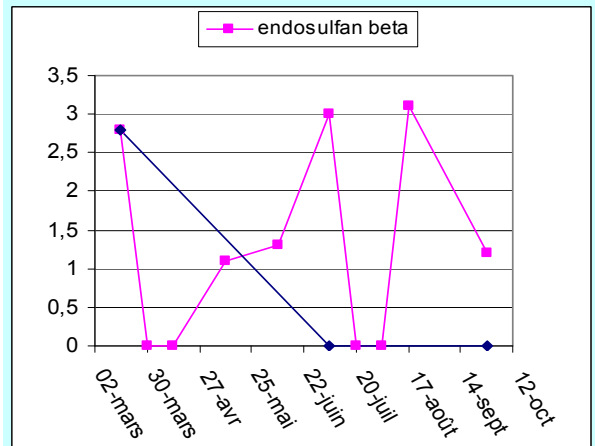
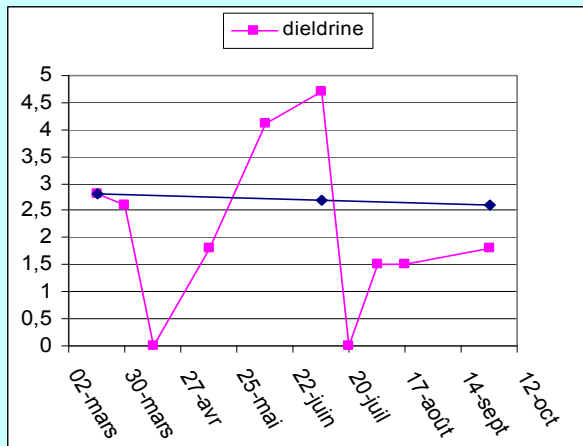


Figure 13 : Teneurs de 8 organochlorés dans les « pipi », exprimées en µg/kg de poids sec de chair. Groupe 1 cadre bleu, groupe 2 cadre jaune, ♦ : témoin

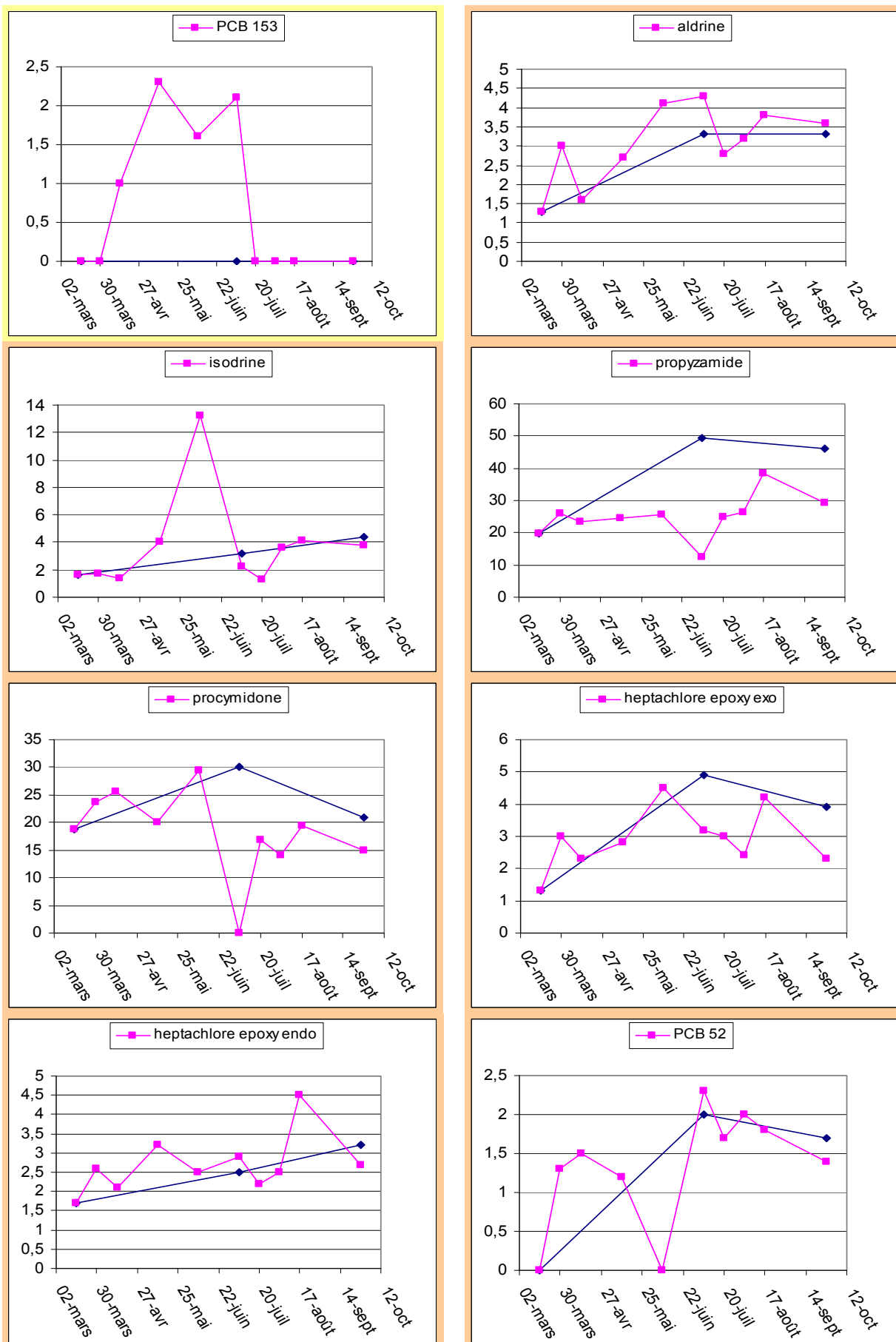


Figure 14 : Teneurs de 8 organochlorés dans les « pipi », exprimées en $\mu\text{g/kg}$ de poids sec de chair. Groupe 2 cadre jaune, groupe 3 cadre orange, \blacklozenge : témoin

Des 16 HAP analysés, on en retrouve 4 seulement (naphtalène, phénanthrène, fluoranthène, pyrène) en concentrations notables dans les « nacres » (tableau 3). La concentration de naphtalène reste sous le seuil de détection de 2 µg/kg p.s. dans la source et les témoins, alors qu'elle augmente jusqu'à un maximum de 9 µg/kg p.s. en station dite « polluée » et diminue ensuite de manière irrégulière jusqu'à rejoindre la valeur du témoin. Pour les trois autres polluants, les concentrations des échantillons sont faibles et stables jusqu'après le changement de station, puis augmentent subitement sur une période de 4 prélèvements (surlignés en jaune dans le tableau 3) et fortement avec des facteurs multiplicateurs moyens de 5, 20 et 25 pour les phénanthrène, fluoranthène, pyrène respectivement.

Tableau 3 : Concentrations de 4 HAP dans les « nacres », exprimées en µg/kg de poids sec de chair.

Lieu	Date	naphtalène		phénanthrène		fluoranthène		pyrène	
		éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.
TKR	16-mars	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3,9	3,9
port PPT	30-mars	4,7		3,7		2,9		7,5	
port PPT	13-avr	6,4		4,3		2,6		5,9	
port PPT	27-avr	< 2,0		4,4		2,7		6,1	
port PPT	11-mai	< 2,0		4,9		3,3		8,8	
port PPT	25-mai	9,0		4,1		2,1		3,9	
port PPT	08-juin	2,3		4,8		3,2		7,8	
port PPT	22-juin	< 2,0		4,3		3,5		7,1	
port PPT	06-juil	< 2,0	< 2,0	4,3	4,1	2,8	2,1	6,5	5,3
Vairao	20-juil	3,0		3,9		< 2,0		3,7	
Vairao	03-août	1,3		30,7		49,3		292	
Vairao	17-août	< 1,0		22,9		65,4		367	
Vairao	31-août	3,7		21,3		54,5		1	
Vairao	14-sept	2,6		19,1		55		1	
Vairao	28-sept	< 2,0	< 2,0	2,1	< 2,0	< 2,0	4,9	2,2	< 2,0

On retrouve dans les « pipi » des concentrations notables de 6 (naphtalène, phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, acénaphtylène) des 16 HAP analysés (tableau 4). Les concentrations de phénanthrène et d'anthracène décroissent régulièrement dans les témoins à partir de la valeur source de 55,3 à 27,9 µg/kg p.s. et 2,4 à 1,1 µg/kg p.s. respectivement. Parallèlement, les concentrations dans les échantillons décroissent assez vite le premier mois à 21,6 µg/kg p.s. pour le phénanthrène et sous le seuil pour l'anthracène, remontent à un pic juste avant le changement de station et diminuent ensuite 69,8 et 4,3 µg/kg p.s. respectivement jusqu'aux valeurs des témoins.

Pour le fluoranthène et le naphtalène, si les concentrations des témoins sont constantes par rapport à la valeur source, les concentrations dans les échantillons suivent une évolution similaire aux deux HAP précédents. Pour le pyrène, les concentrations des témoins et des échantillons augmentent à partir d'une valeur source plus faible.

Tableau 4 : Concentrations de 6 HAP dans les « pipi », exprimées en µg/kg de poids sec de chair.

Lieu	Date	naphtalène		phénanthrène		anthracène		fluoranthène		pyrène		acénaphthylène	
		éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.	éch.	tém.
port PPT	16-mars	< 1,0	< 1,0	55,3	55,3	2,4	2,4	54,9	54,9	< 1,0	< 1,0	< 1,0	
port PPT	30-mars	8,1		31,4		1,5		94,9		< 1,0		< 1,0	
port PPT	13-avr	1,8		22,0		< 1,0		30,4		199		< 1,0	
port PPT	27-avr												
port PPT	11-mai	< 1,0		21,6		1,3		34,6		215		< 1,0	
port PPT	25-mai												
port PPT	08-juin	4,4		28,5		1,0		60,5		422		< 1,0	
port PPT	22-juin												
port PPT	06-juil	648	5,9	69,8	43,3	4,3	1,9	142	51,4	773	303	1,1	< 1,0
Vairao	20-juil	21,2		24,5		< 1,0		67,6		< 1,0		2,2	
Vairao	03-août	75,0		40,3		2,1		90,5		< 1,0		2,5	
Vairao	17-août	67,8		30,0		1,1		76,2		374		1,1	
Vairao	31-août												
Vairao	14-sept												
Vairao	28-sept	35,8	8,6	27,2	27,9	< 1,0	1,1	44,1	51,1	280	< 1,0	1,3	< 1,0

4.4 Radioactivité dans les huîtres perlières

4.4.1 Emetteurs gamma

Les activités des radionucléides émetteurs gamma, exprimées en becquerel par kilogramme de matière fraîche (Bq/kg p.f.), sont présentées dans le tableau 5 pour les prélèvements de « nacres » et dans le tableau 6 pour les « pipi ». Les radionucléides artificiels recherchés sont le césium-137 (^{137}Cs), le cobalt-60 (^{60}Co) et l'américium-241 (^{241}Am). Le potassium-40 (^{40}K) et le plomb-210 (^{210}Pb) sont des radionucléides naturels présents dans tous les produits biologiques. Ce dernier, ^{210}Pb , est un produit de filiation de l'uranium-238 (^{238}U) via le radon-222 (^{222}Rn) présent naturellement dans l'environnement. Il est aussi associé à une pollution anthropique suite à la combustion d'hydrocarbures fossiles.

Des mesures longues, de plusieurs jours permettent d'obtenir des limites de détection faibles.

Tableau 5 : Radioactivité gamma dans les « nacres »

Prélèvement		Rapport PF/P.S.	Durée de mesure (s)	Activité en Bq/kg p.f.				
Lieu	Date			⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	²⁴¹ Am	²¹⁰ Pb
source Takaroa	16/03/2010	6,0	523208	61 ± 3	≤ 0,06	≤ 0,07	≤ 0,06	5,0 ± 0,5
Tahiti port PPT	30/03/2010	5,6	603245	66 ± 4	≤ 0,07	≤ 0,08	≤ 0,10	5,8 ± 0,6
Tahiti port PPT	13/04/2010	5,7	520612	54 ± 3	≤ 0,07	≤ 0,08	≤ 0,08	5,5 ± 0,5
Tahiti port PPT	27/04/2010	5,5	431886	66 ± 4	≤ 0,11	≤ 0,13	≤ 0,10	7,2 ± 0,7
Tahiti port PPT	11/05/2010	6,5	410000	52 ± 3	≤ 0,08	≤ 0,10	≤ 0,09	5,7 ± 0,6
Tahiti port PPT	25/05/2010	5,3	323685	65 ± 4	≤ 0,11	≤ 0,14	≤ 0,12	7,3 ± 0,8
Tahiti port PPT	08/06/2010	5,7	371206	58 ± 3	≤ 0,08	≤ 0,10	≤ 0,10	6,2 ± 0,6
Tahiti port PPT	22/06/2010	4,8	489975	68 ± 4	≤ 0,09	≤ 0,11	≤ 0,09	9,6 ± 0,9
Tahiti port PPT	06/07/2010	5,5	604800	64 ± 3	≤ 0,07	≤ 0,09	≤ 0,08	7,1 ± 0,7
Tahiti Vairao	07/07/2010	6,3	344583	56 ± 3	≤ 0,09	≤ 0,11	≤ 0,09	6,0 ± 0,6
Tahiti port PPT	20/07/2010	5,4	356400	62 ± 3	≤ 0,09	≤ 0,09	≤ 0,10	7,4 ± 0,7
Tahiti port PPT	03/08/2010	6,3	235344	54 ± 3	≤ 0,05	≤ 0,07	≤ 0,07	6,2 ± 0,7
Tahiti port PPT	17/08/2010	6,3	266491	53 ± 4	≤ 0,23	≤ 0,24	≤ 0,51	nm
Tahiti port PPT	31/08/2010	6,2	255643	53 ± 4	≤ 0,13	≤ 0,16	≤ 0,92	nm
Tahiti port PPT	14/09/2010	6,5	324642	57 ± 4	≤ 0,13	≤ 0,15	≤ 0,89	nm
Tahiti port PPT	28/09/2010	6,9	333383	47 ± 2	≤ 0,08	≤ 0,10	≤ 0,09	6,0 ± 0,6
Tahiti Vairao	29/09/2010	6,2	516777	57 ± 3	≤ 0,09	≤ 0,10	≤ 0,09	7,3 ± 0,7

nm : non mesuré (détecteur Ge type P non adapté à la quantification de ²¹⁰Pb)

Pour les « nacres », l'activité en ⁴⁰K, radionucléide naturel, est de 58 ± 6 Bq/kg p.f. en moyenne pour les 17 lots de « nacres » étudiés. L'activité moyenne en ²¹⁰Pb est de 7 ± 1 Bq/kg p.f. pour 14 lots mesurés.

La mesure des radionucléides artificiels donne des résultats en limite de détection, inférieurs à 0,25 Bq/kg p.f. pour les ¹³⁷Cs et ⁶⁰Co et inférieurs à 0,10 Bq/kg p.f. pour l' ²⁴¹Am.

Tableau 6 : Radioactivité gamma dans les « pipi »

Prélèvement		Rapport PF/P.S.	Durée de mesure (s)	Activité en Bq/kg p.f.				
Lieu	Date			⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	²⁴¹ Am	²¹⁰ Pb
Source Takapoto	16/03/2010	6,4	173921	56 ± 3	≤ 0,05	≤ 0,07	≤ 0,06	2,7 ± 0,4
Tahiti port PPT	30/03/2010	6,2	281088	56 ± 3	≤ 0,10	≤ 0,13	≤ 0,13	2,8 ± 0,5
Tahiti port PPT	13/04/2010	5,9	267743	53 ± 3	≤ 0,10	≤ 0,28	≤ 0,31	2,4 ± 0,5
Tahiti port PPT	11/05/2010	4,6	519748	69 ± 4	≤ 0,09	≤ 0,11	≤ 0,10	5,3 ± 0,7
Tahiti port PPT	08/06/2010	6,3	264652	53 ± 3	0,017 ± 0,013	≤ 0,07	≤ 0,06	3,5 ± 0,5
Tahiti port PPT	06/07/2010	5,8	168925	60 ± 3	≤ 0,06	≤ 0,08	≤ 0,09	3,9 ± 0,6
Tahiti Vairao	07/07/2010	6,5	164435	53 ± 3	≤ 0,05	≤ 0,07	≤ 0,06	4,8 ± 0,6
Tahiti port PPT	20/07/2010	5,9	177190	47 ± 3	≤ 0,06	≤ 0,07	≤ 0,10	4,3 ± 0,6
Tahiti port PPT	03/08/2010	5,8	161105	37 ± 2	≤ 0,05	≤ 0,07	≤ 0,08	3,5 ± 0,6
Tahiti port PPT	17/08/2010	5,6	163681	51 ± 3	≤ 0,07	≤ 0,10	≤ 0,09	5,3 ± 0,7
Tahiti port PPT	28/09/2010	5,3	181303	44 ± 3	≤ 0,07	≤ 0,09	≤ 0,09	4,5 ± 0,6
Tahiti Vairao	29/09/2010	5,7	172956	55 ± 3	≤ 0,06	≤ 0,10	≤ 0,09	7,2 ± 0,8

Pour les « pipi », l'activité en ⁴⁰K est de 53 ± 8 Bq/kg p.f. en moyenne pour les 12 lots mesurés. L'activité moyenne en ²¹⁰Pb est de 4 ± 1 Bq/kg p.f.

Seul un échantillon de « pipi » présente une activité significative en ¹³⁷Cs, $0,017 \pm 0,013$ Bq/kg p.f. Les autres résultats en ¹³⁷Cs sont inférieurs à 0,10 Bq/kg p.f. Pour les deux autres

radionucléides, tous les résultats sont exprimés en limite de détection : ^{60}Co ($\leq 0,28$ Bq/kg p.f.) et ^{241}Am ($\leq 0,31$ Bq/kg p.f.).

4.4.2 Emetteurs alpha

Quatre échantillons de « nacres » ont été analysés pour déterminer les teneurs des isotopes du plutonium (^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$) par spectrométrie alpha. Seul un échantillon de « pipi » a pu faire l'objet de cette analyse car la forte mortalité des animaux n'a pas permis de disposer des quantités de matière suffisante.

Les résultats sont présentés dans le tableau 7 ci après.

Tableau 7 : Radioactivité alpha dans les « nacres » et « pipi »

Prélèvement			Activité en mBq/kg p.f.	
Lieu	Date	Nature	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$
Takaroa	16/03/2010	Nacre	0,20 ± 0,13	1,46 ± 0,35
Port PPT	06/07/2010	Nacre	0,24 ± 0,11	1,44 ± 0,25
Port PPT	28/09/2010	Nacre	0,11 ± 0,06	1,27 ± 0,20
Vairao	29/09/2010	Nacre	$\leq 0,21$	1,40 ± 0,33
Takapoto	16/03/2010	Pipi	0,13 ± 0,10	0,62 ± 0,24

Les activités mesurées sont significatives, seul un échantillon de « nacres » est inférieur à la limite de détection en ^{238}Pu . L'ensemble des résultats obtenus pour les 4 lots de « nacres » montrent que les concentrations en plutonium ne sont pas significativement différentes d'un site à l'autre.

4.5 Analyses des bénitiers prélevés *in situ*

Douze échantillons de bénitiers ont été prélevés sur 5 îles de Polynésie française : Hao (Tuamotu est), Tahiti (Iles du vent), Tubuai (Australes), Maupiti (Iles de la société) et Rangiroa (Tuamotu nord), entre les mois de mars 2009 et avril 2010.

Tous les résultats des mesures de teneurs en métaux lourds, HAP et pesticides organochlorés sont donnés en annexe 4.

Les teneurs en Hg, Cd et Pb (figures 15 et 16) sont en dessous des seuils réglementaires CE pour la consommation humaine de mollusques bivalves.

La concentration maximale de $0,35 \mu\text{g/kg p.s.}$ en mercure a été mesurée sur la chair sèche de bénitier prélevé à Tubuai (Australes) en mars 2009.

Les teneurs en cadmium sont comprises entre $0,42 \mu\text{g/kg p.s.}$ et au maximum $1,36$ (Maupiti octobre 2009). La teneur maximale en plomb correspondant au même échantillon est de $2,4 \mu\text{g/kg p.s.}$

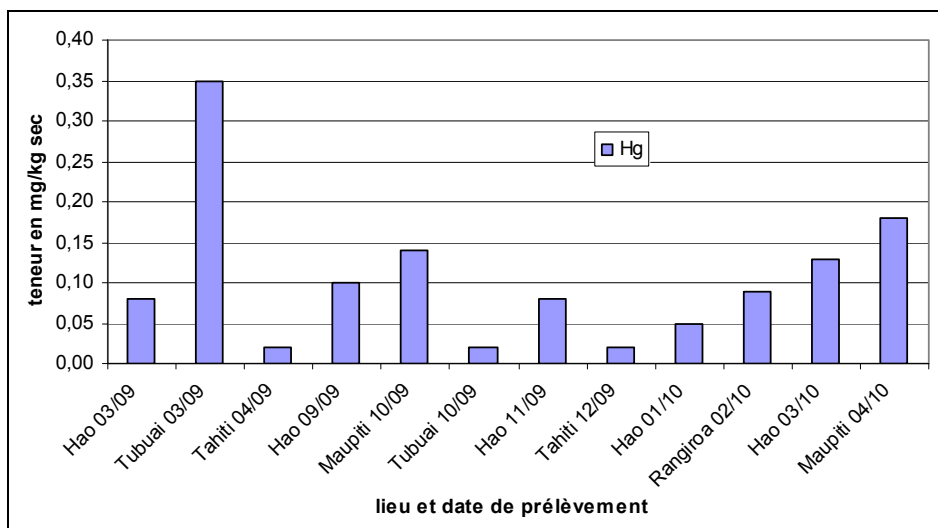


Figure 15 : Teneurs en mercure dans 12 bénitiers prélevés *in situ*

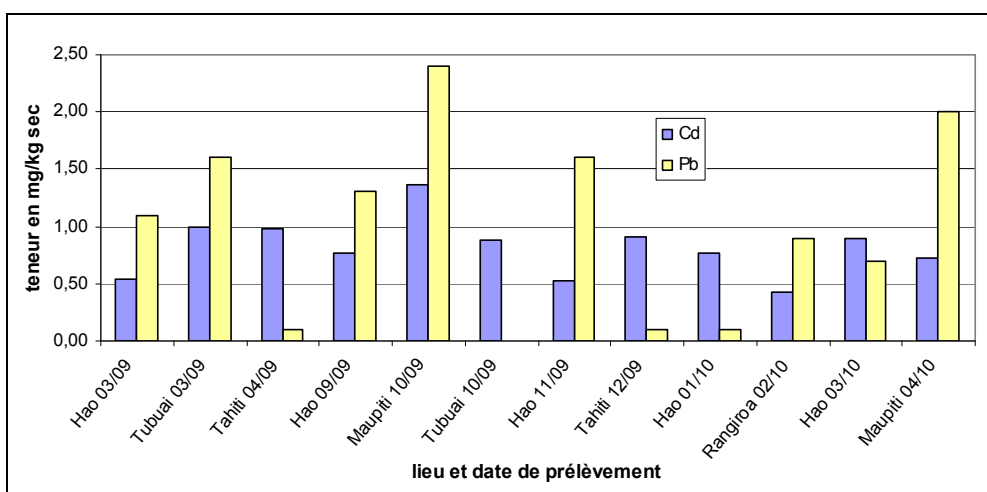


Figure 16 : Teneurs en cadmium et plomb dans 12 bénitiers prélevés *in situ*

Les concentrations des vingt six pesticides organochlorés détectés au moins une fois dans les analyses sont données dans le tableau 8. Onze n'ont jamais été détectés dans les échantillons. Quatre ont été mesurés dans tous les échantillons (PCB52, aldrine, heptachlore epoxy exo, alachlore) et neuf organochlorés ont été détectés dans 50% ou plus des échantillons analysés (DDT op, DDT pp, endrine, isodrine, heptachlore, endosulfan α et β , acétochlore et propyzamide).

Tableau 8 : Teneurs en organochlorés dans les bénéitiers prélevés *in situ*, exprimées en µg/kg de poids sec de chair

Date	Lieu	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 153	PCB 105	PCB 138	alpha HCH	gamma HCH lindane	DDE op	DDE pp	DDD op	DDT op	DDT pp
mars-09	Hao	1,7	4,6	4,0	2,0	1,6	1,4	2,2	<1,0	2,4	10,8	<1,0	12,1	10,3
mars-09	Tubuai	2,3	4,5	2,3	<1,0	<1,0	1,1	<1,0	<1,0	<1,0	5,5	<1,0	2,9	3,5
avr-09	Tahiti	4,2	7,1	2,0	1,7	1,4	1,4	1,7	1,2	1,1	15,0	<1,0	4,9	5,4
sept-09	Hao	<1,0	4,2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,4	<1,0	1,0
oct-09	Maupiti	<1,0	3,3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,2	1,3
oct-09	Tubuai	<1,0	3,6	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,0
nov-09	Hao	<1,0	3,7	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,1	<1,0	2,4	1,0
dec-09	Tahiti	<1,0	3,5	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2,0	1,7	1,5
janv-10	Hao	1,6	2,7	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,1	<1,0	<1,0
fev-10	Rangiroa	<1,0	1,2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
mars-10	Hao	<1,0	1,2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,4	1,5	2,4	1,8
avr-10	Maupiti	<1,0	1,6	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	3,1	4,1

Date	Lieu	endrine	aldrine	isodrine	Hepta chlore	Hepta chlore epoxy exo	Hepta chlore epoxy endo	Endo sulfan alpha	Endo sulfan beta	Endo sulfan sulfate	Acéto chlore	Ala chlore	Propy zamide	Procy midone
mars-09	Hao	<10,0	20,4	24,5	1,5	4,9	3,5	6,8	8,7	13,0	99,8	57,1	60,4	69,1
mars-09	Tubuai	17,3	14,0	10,5	1,8	3,4	<1,0	3,4	4,2	<5,0	18,1	46,7	29,9	30,8
avr-09	Tahiti	<10,0	5,0	3,0	3,7	2,2	<1,0	4,3	1,5	<5,0	<10,0	12,5	15,4	21,6
sept-09	Hao	<10,0	5,5	<1,0	1,3	6,8	1,0	1,5	1,8	<5,0	10,1	14,7	19,2	<10,0
oct-09	Maupiti	6,1	4,7	2,7	1,2	2,9	1,0	<1,0	1,4	<5,0	14,0	13,5	10,9	<10,0
oct-09	Tubuai	6,1	3,2	2,5	1,1	4,4	<1,0	<1,0	<1,0	<5,0	<10,0	105	15,5	<10,0
nov-09	Hao	6,0	12,4	1,4	1,2	5,0	<1,0	1,0	<1,0	<5,0	<10,0	27,7	11,6	<10,0
dec-09	Tahiti	10,8	4,2	1,9	1,0	4,4	1,2	<1,0	<1,0	<5,0	12,8	28,7	19,7	13,2
janv-10	Hao	2,3	8,1	1,7	1,0	1,4	<1,0	<1,0	<1,0	<5,0	<10,0	86,0	13,5	<10,0
fev-10	Rangiroa	1,8	4,9	1,1	1,4	3,7	<1,0	<1,0	1,3	<5,0	10,5	42,7	<10,0	<10,0
mars-10	Hao	5,5	8,5	<1,0	<1,0	5,8	<1,0	1,8	2,3	<5,0	10,2	23,4	15,5	13,8
avr-10	Maupiti	2,0	2,4	1,2	1,2	2,1	<1,0	<1,0	<1,0	<5,1	<10,0	33,4	<10,0	<10,0

Les variations des concentrations rencontrées sont souvent très fortes, d'une île à l'autre et d'une date de prélèvement à l'autre : de LD à 24,5 µg/kg p.s. pour l'isodrine, à 99,8 µg/kg p.s. pour l'acétochlore, à 12,1 µg/kg p.s. pour le DDT op, à 8,7 µg/kg p.s. pour l'endosulfan β, à 15,0 µg/kg p.s. pour le DDE pp.

Les teneurs des neuf HAP détectés au moins une fois dans les analyses sont données dans le tableau 9. Sept HAP n'ont été détectés dans aucun échantillon. Six (naphtalène, acénaphène, fluorène, phénanthrène, fluoranthène et pyrène) ont été à contrario mesurés dans tous les échantillons prélevés. Comme pour les pesticides, les concentrations mesurées sont très variables entre sites et dates de prélèvement.

Tableau 9 : Teneurs en HAP dans les bénitiers prélevés *in situ*, exprimées en µg/kg de poids sec de chair

Date	Lieu	naphtalène	acénaphène	fluorène	phénanthrène	anthracène	fluoranthène	pyrène	benzo (a) anthracène	dibenzo (a,h) anthracène
mars-09	Hao	11,2	37,3	8,7	30,4	1,7	14,3	10,7	1,4	<5,0
mars-09	Tubuai	9,2	13,6	3,9	16,6	1,1	6,1	3,8	<1,0	<5,0
avr-09	Tahiti	12,3	15,0	4,8	25,4	1,7	10,5	7,0	<1,0	<5,0
sept-09	Hao	7,9	9,4	2,1	9,9	<1,0	3,2	2,4	<1,0	<5,0
oct-09	Maupiti	10,0	22,3	3,7	10,1	<1,0	3,5	2,9	<1,0	7,4
oct-09	Tubuai	9,6	16,6	3,7	11,2	<1,0	2,9	2,8	<1,0	<5,0
nov-09	Hao	9,6	20,6	3,2	9,6	<1,0	3,5	3,5	<1,0	<5,0
dec-09	Tahiti	7,2	10,2	3,0	11,0	1,1	3,7	2,8	<1,0	<5,0
janv-10	Hao	5,8	5,0	2,4	9,7	<1,0	2,6	2,0	<1,0	6,3
fev-10	Rangiroa	4,9	3,5	1,8	6,2	<1,0	1,9	1,7	<1,0	7,0
mars-10	Hao	6,0	5,8	1,8	8,5	<1,0	3,7	2,8	<1,0	6,3
avr-10	Maupiti	4,3	4,2	1,9	4,6	<1,0	1,7	1,6	<1,0	6,3

Le tableau 10 présente les résultats des mesures gamma pour les 12 bénitiers. Deux activités sont significatives en ^{137}Cs , le maximum détecté est de $0,022 \pm 0,009$ Bq/kg p.f. Un échantillon a une activité significative en ^{60}Co de $0,020 \pm 0,005$ Bq/kg p.f.

Tableau 10 : Radioactivité dans les bénitiers prélevés *in situ*

Prélèvement		Durée de mesure (s)	Activité en Bq/kg p.f.					
Lieu	Date		^{40}K	±	^{137}Cs	±	^{60}Co	±
Hao	mars-09	239994	73	4	≤ 0,02		≤ 0,03	
Tubuai	mars-09	430230	58	3	0,012	0,004	0,020	0,005
Tahiti	avr-09	436946	59	3	≤ 0,05		≤ 0,03	
Hao	sept-09	604800	78	4	0,022	0,009	≤ 0,03	
Maupiti	oct-09	151671	53	3	≤ 0,06		≤ 0,07	
Tubuai	oct-09	114894	71	3	≤ 0,03		≤ 0,03	
Hao	nov-09	156731	78	4	≤ 0,05		≤ 0,03	
Tahiti	dec-09	192009	60	3	≤ 0,03		≤ 0,03	
Hao	janv-10	181852	51	2	≤ 0,02		≤ 0,03	
Rangiroa	fev-10	236832	70	3	≤ 0,02		≤ 0,03	
Hao	mars-10	103281	65	4	≤ 0,03		≤ 0,04	
Maupiti	avr-10	246443	63	3	≤ 0,02		≤ 0,02	

4.6 Analyse d'un sédiment du port de Papeete

Les résultats en métaux lourds et HAP sont reportés dans le tableau 11. Les résultats complets des contaminants chimiques sont présentés en annexe 5.

Tableau 11 : Teneurs en métaux lourds et HAP dans le sédiment du port de Papeete

Métaux	mg/kg p.s.
Cd	≤ 0,1
Cr	310
Cu	51
Fe	76 500
Hg	0,03
Pb	17
Zn	102

HAP	µg/kg p.s.
naphtalène	1,58
acénaphylène	< 10,00
acénaphène	< 2,00
fluorène	< 5,00
phénanthrène	7,95
anthracène	< 1,00
fluoranthène	16,7
pyrène	12,6
benzo (a) anthracène	9,05
chrysène	10,7
benzo (b) fluoranthène	11,4
benzo (k) fluoranthène	5,03
benzo (a) pyrène	9,35
indéno (1,2,3-cd) pyrène	10,1
dibenzo (a,h) anthracène	< 1,00
benzo (g,h,i) périlène	8,93

Tous les métaux recherchés, sauf le Cd, ont été mesurés dans cet échantillon avec des teneurs relativement importantes pour le Fe et le Cr.

Seul le DDT op a été détecté à une teneur faible de 1,5 µg/kg p.s. parmi les 96 pesticides organochlorés mesurés dans cet échantillon. Tous les autres résultats sont inférieurs aux limites de détection, 1,0 µg/kg p.s., pour le lindane, les PCB et le DDT pp.

Onze HAP ont été détectés dans ce sédiment. Le fluoranthène est mesuré à une concentration de 16,7 µg/kg p.s.

Les résultats de mesure de la radioactivité gamma sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Radioactivité gamma dans un sédiment prélevé sous la filière du port de Papeete

Prélèvement		Durée de mesure (s)	Activité en Bq/kg p.s.		
Lieu	Date		⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co
Port Papeete	24/02/2010	251436	101 ± 6	0,132 ± 0,034	≤ 0,18

Ce sédiment prélevé au port de Papeete a une activité de 0,132 ± 0,034 Bq/kg p.s. en ¹³⁷Cs. L'activité en ⁶⁰Co est inférieure à la limite de détection (≤ 0,18 Bq/kg p.s.).

5 Discussion

Les résultats obtenus lors de cette première phase d'étude sont de trois ordres : les données biologiques de stabulation des deux espèces testées, les concentrations des différents polluants mesurées dans leur chair et l'évolution de ces concentrations au cours de l'expérimentation. Les deux derniers ordres sont examinés par groupe de polluants et l'aptitude bioindicatrice des espèces testées peut être discutée.

Les teneurs des différents polluants dans cette étude sont validées par comparaison aux données de la littérature existantes sur les mêmes sites [1, 2, 12, 20, 21] et obtenues lors de la campagne RINBIO sur les moules de Méditerranée en 2006 [4]. Ces données concernent principalement les teneurs en métaux lourds et en radioactivité, très peu les autres polluants chimiques organiques.

5.1 Validation biologique des espèces testées

La mortalité globale des lots de « nacre » *P. margaritifera* sur la durée des sept mois de l'étude a été de 0,6%/j pour les derniers échantillons relevés, soit 12,0% sur la période. Cette mortalité apparaît tout à fait compatible avec l'utilisation de cette espèce pour les phases ultérieures de l'étude, où la bioaccumulation se ferait sur des durées plus courtes.

La faible variation de l'IC de la « nacre » au cours de l'étude indique un état physiologique moyen relativement stable, ce qui doit autoriser la comparaison des valeurs de bioaccumulation mesurées sur tous les échantillons. Les quelques variations d'un échantillon à l'autre, surtout en première phase de l'étude, peuvent être le signe d'un changement dans l'état des gonades (ponte partielle, gamétogenèse). Cela indiquerait que les effectifs des échantillons étaient un peu trop faibles, pour des individus de cette taille et âgés d'environ 2 à 2,5 ans, pour réduire l'influence du facteur reproduction. On pourra envisager l'utilisation de lots d'individus plus petits et plus nombreux dans les phases suivantes.

La variation du poids frais de chair constatée en première phase de l'étude peut également être liée à des variations de masse gonadique d'un échantillon à l'autre. Mais, sur la durée de l'étude, il n'apparaît pas globalement de tendance de croissance positive ni négative de la chair de « nacre ».

En revanche, la seconde espèce « pipi » *P. maculata* présente une mortalité beaucoup trop forte, qui ne peut convenir à des stabulations longues en pleine eau, tout au moins dans les conditions rencontrées.

Parallèlement, la forte baisse de l'IC après la mise à l'eau des « pipi », non suivie de remontée, semble correspondre à une mauvaise adaptation de ces animaux au mode de stabulation utilisé. Cette évolution de l'IC correspond à la mortalité continue des individus de cette espèce.

La perte de poids qui apparaît importante en début d'étude et se maintient plus faible jusqu'à la fin de l'expérimentation peut être reliée à un mauvais état général des mollusques. La perte de poids constatée peut accentuer la concentration dans la chair des polluants mesurés, et donc en fausser le suivi. Ces indicateurs d'un mauvais état général ne sont pas favorables au choix de cette espèce comme bioindicateur.

5.2 Métaux lourds

Quatre bivalves ont été utilisés aux cours de ces différentes études. Les résultats du présent travail sont comparés avec ceux obtenus en 1988 sur des « nacres » en filière et bénitiers sauvage prélevés à Takapoto [2], atoll dont sont issus les « pipi » utilisés lors de notre étude, ainsi qu'avec des moules (*Perna viridis*) implantées en panier dans la rade du port de Papeete en 1987 et 1988 [2]. Cette méthode de suivi de la contamination par transplants n'a été réalisée en Polynésie qu'au cours des années 1986 à 1988 et uniquement pour suivre les métaux lourds. L'ensemble de ces données sont comparées avec celles obtenues en 2006 dans des moules (*Mytilus edulis*) de Méditerranée du réseau RINBIO [9].

Les autres données du port de Papeete proviennent d'analyses réalisées sur des prélèvements de sédiment en 1983 au même site [1] que dans notre étude sous la filière, sur des prélèvements en 1984 d'eau de lagon à l'embouchure des rivières Tipaerui et Papeava [20] de part et d'autre de la zone portuaire, sur des prélèvements en 1987 réalisés sur 10 sites dispersés dans la rade [2] et sur des prélèvements en 1993 sur 14 sites dispersés dans la rade [21]. La comparaison a été faite également à des résultats obtenus sur les récifs frangeants de Papeete et Vairao en 2007 [12] et avec ceux de 10 sites à Takapoto en 1988 [2].

Les teneurs dans l'eau de mer n'ont pas été analysées à cette phase de notre étude. Nous reportons les données obtenus en 1987 et 1993 au port de Papeete [2, 21] ainsi que celles mesurées en 1988 à Takapoto [2]. Nous ne pouvons cependant pas établir de facteur de concentration eau - bivalve.

5.2.1 Cadmium

Peu répandu dans la croûte terrestre, présent dans les minerais de zinc, plomb, phosphates, le Cd est essentiellement présent sous forme d'oxyde, de chlorure et de sulfure. C'est un élément bioaccumulable dénué d'utilité biologique.

Les utilisations du Cd existant localement sont les accumulateurs (Ni-Cd), le traitement des surfaces métalliques (revêtement anticorrosion), la combustion des produits pétroliers, l'incinération des ordures, la métallurgie de l'acier et les engrais phosphatés (impuretés). Les apports aux eaux transitent en majorité par le ruissellement en zone urbaine.

Le Cd présente une forte toxicité sous ses formes sulfure et oxyde. Cette substance génotoxique à effets cancérigènes est classée substance dangereuse prioritaire (Directive cadre sur l'Eau [18]). En milieu marin, le Cd provoque des effets sur le développement larvaire de certains organismes, notamment les crustacés.

Le tableau 13 donne des teneurs en Cd rencontrées dans différents milieux et organismes.

Tableau 13 : Comparaison de teneurs en cadmium

Nature des échantillons et date de prélèvements	Cd (mg/kg p.s., µg/L pour les eaux)		
	Min	Max	Médiane
« nacres » port de Papeete (8 lots) – cette étude	4,95	7,37	
« nacres » port de Vairao (8 lots) – cette étude	4,74	7,41	
« nacres » Takaroa (1 lot témoin) – cette étude	7,06		
10 « nacres » Takapoto 1988 [2]	1,1	5,0	
Pipis port de Papeete (5 lots) – cette étude	32,7	50,8	
Pipis Vairao (6 lots) – cette étude	47,9	72,2	
Pipis Takapoto (1 lot témoin) – cette étude	61,7		
12 bénitiers <i>in situ</i> (5 îles) – cette étude	0,42	1,36	0,82
3 bénitiers Takapoto 1988 [2]	0,55	3,30	
Moules port de Papeete (3 sites) 1987-1988 [2]	≤ 0,1	0,95	
Moules Méditerranée 2006 [9]	0,4	2,67	0,88
Sédiment port de Papeete – cette étude	≤ 0,1		
Sédiment port de Papeete (14 sites) 1993 [21]	≤ 0,2	3,8	
Sédiment port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	0,08	0,28	
Sédiment port de Papeete (4 stations, 2 sites) 1984 [20]	1,1	3,5	
Sédiment récif frangeant Papeete 2007 [12]	≤ 0,5		
Sédiment récif frangeant Vairao 2007 [12]	≤ 0,5		
Sédiment Takapoto (10 sites) 1988 [2]	0,03	1,29	
Eau de mer port de Papeete (15 sites) 1993 [21]	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Eau de mer (10 sites) Takapoto 1988 [2]	≤ 0,02	0,23	
Eau de mer port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	0,63	2,44	

La majorité des teneurs en Cd mesurées dans les « nacres » sont supérieures au seuil CE pour la consommation des mollusques de 5 mg/kg p.s. Ces teneurs sont du même ordre de grandeur, que celles des « nacres » provenant de Takapoto analysées en 1988 [2]. Dans les « pipi », les teneurs en Cd sont de l'ordre de 10 fois le seuil CE, tous les échantillons présentant de fortes concentrations.

Pour les sédiments, la valeur maximum, 3,8 mg/kg p.s, a été relevée en 1993 dans le port de Papeete. La mesure que nous avons réalisée sur le sédiment collecté sous la filière (16 m de profondeur) dans le port donne un résultat en LD. Les bénitiers prélevés dans cette étude et en 1988 à Takapoto présentent des teneurs en Cd du même ordre de grandeur que les valeurs relevées dans les moules de Méditerranée [9] mais nettement plus basses que les valeurs mesurées dans les deux huîtres perlières de cette étude.

Le cadmium est en concentration plus élevée dans les huîtres perlières des 2 espèces approvisionnées que dans celles immergées 4 mois au port de Papeete. C'est probablement le signe d'une décontamination progressive. Pour les « nacres », le lot mouillé pendant 4 mois au port de Papeete (site réputé « pollué ») a une teneur en Cd inférieure à celui mouillé la même durée sur la station de Vairao.

Comme la moule déjà utilisée dans le port de Papeete et les huîtres *C. gigas* pour ce métal [23, 24], la nacre semble être un indicateur de la contamination en cadmium.

A Hawaii, l'huître *P. margaritifera galtsoffi* a été testée comme système de surveillance dans les eaux tropicales et s'est révélée être un bon accumulateur des métaux lourds [25].

5.2.2 Mercure

Élément rare de la croûte terrestre, le Hg est présent surtout sous forme de sulfure (cinabre), chlorure et à l'état natif. Sa distribution est universelle dans la biosphère, d'origine naturelle (volcans, érosion, dégazage océanique) mais surtout du fait des activités humaines historiques. Ce métal n'a aucune propriété biogène.

Les principales sources anthropiques locales seraient la combustion du fuel, la fabrication du chlore et de la soude, l'incinération des déchets domestiques et la crémation, ainsi que divers rejets aux eaux usées (amalgames dentaires, bris de thermomètres,...).

Le Hg présente une toxicité élevée pour l'homme et l'environnement. Les dérivés méthylés représentent la forme la plus toxique et la plus écotoxique du Hg, notamment du fait de sa bioaccumulation par tous les organismes et de sa remarquable bioamplification. Le mercure est classé substance dangereuse prioritaire [18]. En milieu marin, la croissance du plancton et de larves de bivalves est retardée à de très faibles concentrations. Le transfert du Hg est très important dans les chaînes trophiques et des concentrations en méthylmercure peuvent être atteintes en fin de chaîne alimentaire (thonidés, squales).

Dans cette étude, les teneurs mesurées dans les huîtres perlières et les bénitiers prélevés *in situ* sont largement inférieures au seuil européen pour la consommation. Elles sont du même ordre de grandeur que celles relevées dans des « nacres » ou des bénitiers sur l'atoll de Takapoto en 1988 [2] ainsi que celles relevées dans des moules de Méditerranée en 2006 [9] et au port de Papeete en 1987-88 [2] (données regroupées dans le tableau 14).

La mesure du mercure dans le sédiment du port de Papeete sous filière est inférieure à toutes celles que nous avons relevées dans les études passées [2, 20, 21].

La teneur maximum en Hg dans les bénitiers, 0,35 mg/kg p.s., provient d'un échantillonnage réalisé à Tubuai. Les résultats obtenus à Maupiti sont aussi un peu plus élevés que ceux des autres îles. Pour Tahiti, les résultats obtenus dans les huîtres perlières et dans les bénitiers sont du même ordre de grandeur, quelques dizaines de µg/kg p.s.

Les faibles teneurs mesurées dans tous les échantillons de cette étude ne permettent pas de mettre en évidence de phénomène de bioaccumulation. Les huîtres perlières ne semblent pas, dans les conditions mises en œuvre, être de bons indicateurs de la contamination au mercure.

Tableau 14 : Comparaison de teneurs en mercure

Nature des échantillons et date de prélèvement	Hg (mg/kg p.s., µg/L pour les eaux)		
	Min	Max	Médiane
« nacres » port de Papeete (8 lots) – cette étude	0,05	0,06	
« nacres » port de Vairao (8 lots) – cette étude	0,04	0,06	
« nacres » Takaroa (1 lot témoin) – cette étude	0,05		
10 « nacres » Takapoto 1988 [2]	≤ 0,05	0,17	
« Pipis » port de Papeete (5 lots) – cette étude	0,05	0,09	
« Pipis » Vairao (6 lots) – cette étude	0,05	0,08	
« Pipis » Takapoto (1 lot témoin) – cette étude	0,04		
12 Bénitiers <i>in situ</i> (5 îles) cette étude	0,02	0,35	0,09
3 bénitiers Takapoto 1988 [2]	0,05	0,30	
Moules port de Papeete (3 sites) 1987-1988 [2]	0,08	0,70	
Moules Méditerranée 2006 [9]	0,02	0,23	0,07
Sédiment port de Papeete – cette étude	0,03		
Sédiment port de Papeete (14 sites) 1993 [21]	0,08	3,47	
Sédiment port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	0,06	5,7	
Sédiment port de Papeete (4 stations, 2 sites) 1984 [20]	0,06	0,23	
Sédiment port de Papeete (zone douanière) 1983 [1]	0,54		
Sédiment récif frangeant Papeete 2007 [12]	≤ 0,1		
Sédiment récif frangeant Vairao 2007 [12]	≤ 0,1		
Eau de mer port de Papeete (15 sites) 1993 [21]	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Eau de mer (10 sites) Takapoto 1988 [2]	≤ 0,05	0,45	
Eau de mer port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	0,10	1,4	

5.2.3 Plomb

Le Pb est présent dans les minerais principaux : galène, cérusite et anglésite, en association fréquente avec d'autres métaux (zinc et cadmium). Ses usages sont multiples et variés dont un, prépondérant, pour les batteries automobiles. La forte diminution de la pollution atmosphérique résulte de la suppression de l'essence plombée. Ce métal est dénué d'utilité biologique ; sa bioaccumulation est variable.

Les émissions naturelles de Pb sont très minoritaires (érosion des sols, volcanisme), les sources anthropiques étant très supérieures. Il peut provenir principalement en Polynésie de la combustion de carburants, d'huiles usagées et de l'érosion des peintures anciennes à base de Pb, du ruissellement sur les toitures, les chaussées (revêtement et résidus de la circulation automobile) et de la décharge sauvage des batteries.

Le Pb est très toxique pour l'homme et l'environnement. Il est classé substance prioritaire [18]. En milieu marin, les formes inorganiques sont moins écotoxiques que les formes organiques (composés alkylés) qui inhibent la croissance du phytoplancton. Le Pb peut également provoquer des anomalies dans le développement embryonnaire des bivalves.

Les teneurs mesurées dans les 2 espèces d'huîtres perlières sont largement inférieures au seuil européen pour la consommation humaine. Les concentrations mesurées dans les « nacres »,

proches de la limite de détection, sont toutes inférieures à celles relevées à Takapoto en 1988 [2] dans cette même espèce. Les teneurs en Pb dans les bénitiers sont du même ordre de grandeur que celles relevées dans les bénitiers et les moules à Takapoto en 1988 [2] et dans les moules de Méditerranée [9] (tableau 15).

La teneur du Pb dans le sédiment du port de Papeete sous filière, 17 mg/kg p.s., est inférieure à celle effectuée au même endroit en 1983 [1] et très inférieure aux maximums relevés dans des sédiments dans la rade du port en 1984 [20] et 1993 [21], 295 et 266 mg/kg p.s.

Les teneurs que nous avons mesurées dans les 2 échantillons de bénitiers de Tahiti sont comparables aux teneurs mesurées dans les huîtres perlières à Papeete et à Vairao.

Les faibles teneurs mesurées dans cette étude ne permettent pas de mettre en évidence de phénomène d'accumulation. Au contraire des moules déjà utilisées, les huîtres perlières ne semblent pas être de bons indicateurs de la contamination en plomb dans les conditions mises en œuvre.

Tableau 15 : Comparaison de teneurs en plomb

Nature des échantillons et date de prélèvement	Pb (mg/kg p.s., µg/L pour les eaux)		
	Min	Max	Médiane
« nacres » port de Papeete (8 lots) – cette étude	≤ 0,1	0,2	
« nacres » port de Vairao (8 lots) – cette étude	≤ 0,1	0,1	
« nacres » Takaraoa (1 lot témoin) – cette étude	0,2		
10 « nacres » Takapoto 1988 [2]	0,35	1,35	
« Pipis » port de Papeete (5 lots) – cette étude	0,2	0,4	
« Pipis » Vairao (6 lots) – cette étude	≤ 0,1	≤ 0,1	
« Pipis » Takapoto (1 lot témoin) – cette étude	0,2		
12 Bénitiers <i>in situ</i> (5 îles) – cette étude	≤ 0,1	2,4	1,1
3 bénitiers Takapoto 1988 [2]	0,54	1,22	
Moules port de Papeete (3 sites) 1987-1988 [2]	0,37	2,33	
Moules Méditerranée 2006 [4]	0,28	8,44	1,07
Sédiment port de Papeete – cette étude	17		
Sédiment port de Papeete (14 sites) 1993 [21]	≤ 2	266	
Sédiment port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	3,5	74,5	
Sédiment port de Papeete (4 stations, 2 sites) 1984 [20]	70	295	
Sédiment port de Papeete (zone douanière) 1983 [1]	42		
Sédiment récif frangeant Papeete 2007 [12]	1,5		
Sédiment récif frangeant Vairao 2007 [12]	≤ 0,5		
Eau de mer port de Papeete (15 sites) 1993 [21]	≤ 1	2	
Eau de mer (10 sites) Takapoto 1988 [2]	≤ 0,04	0,06	
Eau de mer port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	0,88	2,07	

5.2.4 Zinc

Le Zn est naturellement présent dans les roches magmatiques, sédiments argileux et schistes de la croûte terrestre, principalement sous forme de blende (sulfure de zinc). Les apports

naturels sont l'érosion, le volcanisme, les feux de forêts et les aérosols marins. Dans l'eau, le Zn est présent sous diverses formes : ion hydraté, zinc complexé par les ligands organiques, adsorbé sur la matière solide, oxydes de zinc.

Ses sources potentielles dans l'environnement polynésien sont : la galvanisation, les piles électriques, les pigments, la protection anticorrosion, la peinture antirouille, les engrais phosphatés, l'usure des pneus, la corrosion des toitures et gouttières, l'incinération des ordures ménagères.

Le Zn est un oligo-élément nécessaire au métabolisme des êtres vivants. Sa toxicité est variable selon la forme chimique. Sa bioaccumulation est modérée. Sa toxicité pour les organismes aquatiques n'en fait pas un contaminant prioritaire, bien qu'il agisse à de fortes concentrations sur la reproduction des huîtres et la croissance des larves.

Les teneurs mesurées dans les 2 espèces d'huîtres perlières testées lors de cette étude sont voisines et largement supérieures (facteur 100 environ) à celles mesurées dans des « nacres », bénitiers et moules en 1987-88 [2] et dans les bénitiers de notre étude (tableau 16). La valeur du sédiment du port de Papeete est dans la gamme des valeurs mesurées dans les sédiments lors des précédentes études [2, 12, 20, 21].

Tableau 16 : Comparaison de teneurs en zinc

Nature des échantillons et date de prélèvement	Zn (mg/kg p.s., µg/L pour les eaux)		
	Min	Max	Médiane
« nacres » port de Papeete (8 lots) – cette étude	2 050	2 860	
« nacres » port de Vairao (8 lots) – cette étude	1 920	2 660	
« nacres » Takaroa (1 lot témoin) – cette étude	2 210		
10 « nacres » Takapoto 1988 [2]	14,0	38,0	
« Pipis » port de Papeete (5 lots) – cette étude	2 580	3 280	
« Pipis » Vairao (6 lots) – cette étude	2 320	4 120	
« Pipis » Takapoto (1 lot témoin) – cette étude	1 750		
12 Bénitiers <i>in situ</i> (5 îles) – cette étude	5,8	27,3	15,0
3 bénitiers Takapoto 1988 [2]	15,0	22,0	
Moules port de Papeete (3 sites) 1987-1988 [2]	48	590	
Moules Méditerranée 2006 [9]	57	229	118
Sédiment port de Papeete – cette étude	102		
Sédiment port de Papeete (14 sites) 1993 [21]	148,2	617,4	
Sédiment port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	35	310	
Sédiment port de Papeete (4 stations, 2 sites) 1984 [20]	153	212	
Sédiment récif frangeant Papeete 2007 [12]	98		
Sédiment récif frangeant Vairao 2007 [12]	2		
Eau de mer port de Papeete (15 sites) 1993 [21]	≤ 1	43,2	
Eau de mer (10 sites) Takapoto 1988 [2]	0,09	0,20	
Eau de mer port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	3,38	14,9	

Il y a une différence entre les « nacres » et « pipi » de notre étude et tous les autres résultats quels que soient le support ou la date d'analyse. Comment expliquer cette amplitude de

valeurs ? Par une contamination dans les seules huîtres perlières de notre étude ? Au cours du traitement (laboratoire) ? Ce rapport de grandeur ne se retrouve que sur ce métal.

Pour les « nacres », on peut cependant observer une contamination progressive en zinc au cours des 4 mois de mouillage à la station du port de Papeete puis une décontamination après transfert à Vairao. L'espèce *P. margaritifera* pourrait être dans les conditions mises en œuvre un bioindicateur pour ce métal, contrairement à la moule.

Pour le « pipi », une contamination a lieu sur les individus mouillés au port comme ceux restés à Vairao et, entre 4 et 7 mois de mouillage c'est sur la station de Vairao qu'apparaît une baisse des teneurs en Zn.

5.2.5 Chrome

Le Cr est largement distribué dans la croûte terrestre, le principal minerai étant la chromite. Il existe sous les formes réduites trivalente (III) pour le Cr issu de la roche-mère, et oxydée hexavalente (VI), dans certains effluents industriels bruts.

Les sources locales de Cr peuvent être les huiles, l'usure des aciers et alliages et les traitements de surface. Ses apports aux eaux se font par le ruissellement.

Les sels du Cr-VI sont très toxiques (assez rapidement réduit en Cr-III dans l'environnement). Sa bioaccumulation est moyenne. Le Cr est un oligo-élément intervenant dans le métabolisme des glucides et des lipides. Le Cr-VI est cancérigène par inhalation principalement. En milieu marin, le Cr-VI provoque des anomalies dans le développement larvaire des bivalves.

Les teneurs en Cr mesurées lors de cette étude, dans les huîtres et dans les bénitiers sont du même ordre de grandeur que les teneurs mesurées dans des moules de Méditerranée en 2006 [9]. Indépendamment du site en Polynésie, elles sont inférieures aux résultats obtenus dans le passé dans les « nacres », les bénitiers et les moules [2] (tableau 17).

Alors que les teneurs ont baissé au cours du temps dans les filtreurs, la mesure du sédiment au port de Papeete indique une concentration en chrome 10 fois plus forte qu'en 1983 sur la même zone [1] mais du même ordre de grandeur que certaines valeurs mesurées dans la rade du port en 1987 [2] et 1993 [21].

Dans les 2 espèces d'huîtres perlières, les teneurs observées après immersion de quelques semaines au port sont supérieures à celles mesurées sur le site de Vairao.

Pour les « nacres », une contamination rapide a lieu après 2 mois d'immersion au port de Papeete puis une décontamination après transfert à Vairao. On observe également une contamination entre les lots d'origine de Takaroa et les lots mouillés à la station de Vairao sur la presqu'île.

Pour le « pipi », les teneurs en Cd augmentent après 2 semaines d'immersion au port de Papeete puis se stabilisent. Une décontamination a lieu après transfert à Vairao.

Comme la moule, la « nacre » et le « pipi » semblent être de bons indicateurs pour ce métal.

Tableau 17 : Comparaison de teneurs en chrome

Nature des échantillons et date de prélèvement	Cr (mg/kg p.s., µg/L pour les eaux)		
	Min	Max	Médiane
« nacres » port de Papeete (8 lots) – cette étude	≤ 0,1	3,3	
« nacres » port de Vairao (8 lots) – cette étude	1,2	1,9	
« nacres » Takaroa (1 lot témoin) – cette étude	≤ 0,1		
10 « nacres » Takapoto 1988 [2]	3,0	12,3	
« Pipis » port de Papeete (5 lots) – cette étude	1,6	2,3	
« Pipis » Vairao (6 lots) – cette étude	1,1	1,5	
« Pipis » Takapoto (1 lot témoin) – cette étude	1,3		
12 Bénitiers <i>in situ</i> (5 îles) - cette étude	0,5	2,1	1,4
3 bénitiers Takapoto 1988 [2]	10,0	19,8	
Moules port de Papeete (3 sites) 1987-1988 [2]	1,55	12,6	
Moules Méditerranée 2006 [9]	0,1	1,7	0,4
Sédiment port de Papeete – cette étude	310		
Sédiment port de Papeete (14 sites) 1993 [21]	131	646	
Sédiment port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	9,5	262	
Sédiment port de Papeete (4 stations, 2 sites) 1984 [20]	52	88	
Sédiment port de Papeete (zone douanière) 1983 [1]	27,2		
Sédiment récif frangeant Papeete 2007 [12]	6		
Sédiment récif frangeant Vairao 2007 [12]	5		
Eau de mer port de Papeete (15 sites) 1993 [21]	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Eau de mer (10 sites) Takapoto 1988 [2]	≤ 0,05	11,9	
Eau de mer port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	0,61	1,64	

5.2.6 Fer

Le fer d'origine naturelle est abondant dans les roches sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. Il est soluble à l'état d'ion ferreux (Fe^{2+}) et insoluble à l'état d'ion ferrique (Fe^{3+}).

Les rejets de fer peuvent être principalement dus aux industries métallurgiques, à la fabrication des engrais et aux traitements de surface.

Les teneurs en fer mesurées lors de cette étude dans les huîtres perlières sont supérieures à celles relevées à Takapoto en 1988 [2] dans des « nacres » et bénitiers mais très inférieures aux teneurs mesurées dans des moules du port à la même date (tableau 18).

La mesure du sédiment au port de Papeete indique une concentration en Fe environ 10 fois plus forte qu'en 1983 sur la même zone [1] mais du même ordre de grandeur que des teneurs mesurées dans la rade du port en 1993 [21].

Tableau 18 : Comparaison de teneurs en fer

Nature des échantillons et date de prélèvement	Fe (mg/kg p.s., µg/L pour les eaux)		
	Min	Max	Médiane
« nacres » port de Papeete (8 lots) – cette étude	307	523	
« nacres » port de Vairao (8 lots) – cette étude	98,7	204	
« nacres » Takaroa (1 lot témoin) – cette étude	152		
10 « nacres » Takapoto 1988 [2]	69	190	
« Pipis » port de Papeete (5 lots) – cette étude	312	449	
« Pipis » Vairao (6 lots) – cette étude	193	329	
« Pipis » Takapoto (1 lot témoin) – cette étude	211		
12 Bénitiers in situ (5 îles) – cette étude	21,1	374	32,0
3 bénitiers Takapoto 1988 [2]	34	107	
Moules port de Papeete (3 sites) 1987-1988 [2]	800	10 750	
Sédiment port de Papeete – cette étude	76 000		
Sédiment port de Papeete (14 sites) 1993 [21]	49 000	109 500	
Sédiment port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	1 000	3 000	
Sédiment port de Papeete (4 stations, 2 sites) 1984 [20]	14 100	32 500	
Sédiment port de Papeete (zone douanière) 1983 [1]	5 500		
Sédiment récif frangeant Papeete 2007 [12]	1 772		
Sédiment récif frangeant Vairao 2007 [12]	318		
Eau de mer port de Papeete (15 sites) 1993 [21]	5	62	
Eau de mer (10 sites) Takapoto 1988 [2]	≤ 1	45	

Pour les « nacres » comme pour les « pipi », les teneurs observées au port sont supérieures à celles mesurées sur le site de Vairao.

Après immersion au port de Papeete, la réponse est immédiate dans les 2 espèces. Les teneurs en Fe augmentent rapidement et la décontamination a lieu dès transfert sur la station de Vairao pour atteindre après un mois, des teneurs inférieures à celles d'origine, avant expérimentation.

Comme la moule, les 2 espèces d'huîtres perlières *P. margaritifera* et *P. maculata* semblent être de bons indicateurs de la contamination en fer.

5.2.7 Cuivre

Le cuivre est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés, de nombreux composés : acétate, hydroxyde, sulfate, chlorure, oxyde ... de degrés d'oxydation +1 (cuivreux) et +2 (cuivrique). Il présente de multiples usages en raison de ses propriétés de bon conducteur (chaleur et électricité) et biocides.

Les principales sources locales d'émission du Cu peuvent être le travail du cuivre et des métaux, du bois, l'incinération des ordures ménagères, les fertilisants (phosphates) et fongicides, le rejet du lisier.

Le Cu est un oligo-élément nécessaire à la vie (synthèse de l'hémoglobine, défense cellulaire et fonctionnement du cerveau). Sa bioaccumulation est variable selon le type d'organisme et

diminue le long de la chaîne alimentaire. Sa toxicité est variable selon sa forme chimique. Ses effets deviennent toxiques au-delà de certaines concentrations. En milieu marin, le Cu agit sur le développement embryonnaire des bivalves et sur la croissance du phytoplancton. Toutefois les bivalves constituent en général de mauvais indicateurs pour le Cu car ils régulent sa concentration.

Tableau 19 : Comparaison de teneurs en cuivre

Nature des échantillons et date de prélèvement	Cu (mg/kg p.s., µg/L pour les eaux)		
	Min	Max	Médiane
« nacres » port de Papeete (8 lots) – cette étude	3,5	4,4	
« nacres » port de Vairao (8 lots) – cette étude	2,2	3,6	
« nacres » Takaroa (1 lot témoin) – cette étude	2,6		
10 « nacres » Takapoto 1988 [2]	3,4	6,7	
« Pipis » port de Papeete (5 lots) – cette étude	5,5	11,6	
« Pipis » Vairao (6 lots) – cette étude	3,4	7,8	
« Pipis » Takapoto (1 lot témoin) – cette étude	4,7		
12 Bénitiers in situ (5 îles) – cette étude	0,7	2,6	1,4
3 bénitiers Takapoto 1988 [2]	4,1	4,3	
Moules port de Papeete (3 sites) 1987-1988 [2]	4,37	38,6	
Moules Méditerranée 2006 [9]	2,4	7,7	3,7
Sédiment port de Papeete – cette étude	51		
Sédiment port de Papeete (14 sites) 1993 [21]	34,5	395,2	
Sédiment port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	45	1 140	
Sédiment port de Papeete (4 stations, 2 sites) 1984 [20]	32	216	
Sédiment récif frangeant Papeete 2007 [12]	2		
Sédiment récif frangeant Vairao 2007 [12]	4		
Eau de mer port de Papeete (15 sites) 1993 [21]	≤ 1	3	
Eau de mer (10 sites) Takapoto 1988 [2]	0,45	3,24	
Eau de mer port de Papeete (10 sites) 1987 [2]	0,13	1,31	

La valeur du sédiment du port de Papeete est proche des valeurs les plus faibles, quelques dizaines de mg/kg p.s., mesurées dans des sédiments dans la rade en 1984 [2], 1987 [20] et 1993 [21] (tableau 19). Dans ces années 1990, des teneurs 10 fois plus fortes étaient fréquemment mesurées.

Les teneurs en Cu mesurées lors de cette étude dans les « nacres » sont du même ordre de grandeur que celles relevées à Takapoto en 1988 [2] et dans les moules de Méditerranée en 2006 [9]. Les valeurs dans les « pipi » sont plus élevées, notamment celles du port de Papeete ; elles sont proches des valeurs obtenues dans des moules au port en 1987 - 88 [2].

Pour les « nacres », la contamination après immersion au port de Papeete puis la décontamination sur le site de Vairao sont faibles. Par ailleurs, pour le « pipi », la teneur en Cu a triplé après mouillage pendant 4 mois au port pour redescendre après 1 mois à Vairao à sa teneur initiale. Les « pipi » semblent mieux accumuler le Cu que les « nacres ».

5.3 Pesticides organochlorés

Les organochlorés ont été les pesticides les plus utilisés. Les données de la littérature disponibles sur les teneurs en polluants organochlorés en milieu marin à Tahiti sont cependant rares. A notre connaissance, il n'y a pas de mesures utilisables dans l'eau ni dans le compartiment vivant. Les données obtenues en 2006 dans des moules (*Mytilus edulis*) de Méditerranée du réseau RINBIO [9] nous servent ici de références.

De nombreux pesticides organochlorés sont toujours autorisés en Polynésie (Arrêté n° 1065 CM du 25 juillet 2011 fixant la liste des substances actives et préparations commerciales de pesticides autorisés en Polynésie française). Ceux qui ont été interdits sont pour la plupart fortement rémanents (DDT et dérivés en particulier).

Les polychlorobiphényles (PCB) sont des produits de synthèse autrefois fabriqués industriellement et utilisés dans les installations électriques (isolants diélectriques, transformateurs et condensateurs).

Les PCB sont bioaccumulables, biomagnificables et difficilement biodégradables. Très toxiques pour les organismes aquatiques, perturbant les fonctions reproductrices en fin de chaîne trophique, les PCB ont de nombreux effets systémiques et neurotoxiques. Ils sont suspectés d'être cancérigènes, perturbateurs endocriniens avérés et probablement toxiques pour le développement de l'enfant. Ils sont classés substances non prioritaires [18].

Le DDT en mélange de deux isomères (DDT pp et DDT op) et le lindane (γ HCH) sont des insecticides organochlorés de contact. Ils sont très dangereux pour l'environnement en raison de leur forte capacité de bioaccumulation et du phénomène de bioamplification et ont des effets néfastes sur la santé humaine. Le DDD provient de la transformation du DDT en milieu réducteur, c'est à dire principalement dans les sédiments et le DDE est métabolisé par les organismes. Le lindane est classé dans la liste des substances dangereuses prioritaires [18].

Les dieldrine, aldrine, isodrine, endrine sont des insecticides chlorés non systémiques très peu solubles, dangereux et classés POP.

Les amides (acétochlore, alachlore, heptachlore epoxy exo et endo, propyzamide...) sont des herbicides en revanche très fortement solubles et assez facilement dégradables.

Les autres organochlorés rencontrés sont les procymidone et endosulphan alpha et beta.

Sept organochlorés seulement ont été détectés dans les « nacres » toujours sur les quatre mêmes échantillons. Les teneurs à tous les autres échantillons sont inférieures aux seuils de détection. Cette partition des valeurs rencontrées dans les « nacres » est difficilement explicable. Il est cependant intéressant de noter qu'elle correspond à deux séries différentes d'analyses réalisées par le laboratoire (deux expéditions différentes d'échantillons). La bioaccumulation de ces produits polluants par la « nacre » devra donc être étudiée à nouveau.

Les PCB 153 et 52 ont été détectés uniquement dans les « pipi » (valeur max. de 2,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.s.). Les teneurs en PCB relevées dans les « pipi » durant cette étude sont du même ordre de grandeur que celles relevées dans les bénitiers prélevés *in situ*. Ces valeurs sont nettement inférieures à la concentration médiane mesurée dans les moules de Méditerranée en 2006 [9] (tableau 20).

Tableau 20 : Comparaison de teneurs en PCB 153

Nature des échantillons et date de prélèvement	PCB 153 (µg/kg p.s.)		
	Min	Max	Médiane
Nacres – cette étude	≤ 1,0	≤ 1,0	
Pipis – cette étude	≤ 1,0	2,3	
Sédiment port de Papeete – cette étude	≤ 1,0		
12 Bénitiers in situ (5 îles) – cette étude	≤ 1,0	2,0	1,0
Moules Méditerranée 2006 [9]	0,5	44,3	4,04

Le lindane n'a jamais été détecté dans les 2 espèces d'huîtres perlières durant cette étude (teneurs ≤ 1,0 µg/kg p.s.). Ce contaminant n'est pas détecté dans le sédiment du port de Papeete et une seule fois dans un échantillon de bénitier de Tahiti à 1,2 µg/kg p.s. C'est le cas également pour les moules de Méditerranée où les teneurs sont inférieures aux limites de détection et seulement 2 valeurs significatives ont été mesurées durant la dernière campagne de mesures de 2006 [9].

Les DDT pp et DDE pp ont été détectés dans les « pipi ». Le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) pp a été détecté dans 11 échantillons de « pipi » lors de cette étude. La teneur maximale mesurée est de 7,5 µg/kg p.s. dans le lot source et les concentrations ont ensuite diminué aux deux stations. Il a également été détecté 10 fois dans les 12 bénitiers analysés, avec une teneur maximale de 10,3 µg/kg p.s. Ces maximums sont supérieurs aux résultats du programme de suivi RINBIO en 2006 [9] indiquant des teneurs inférieures à 6 µg/kg p.s. (DDT) dans les moules de Méditerranée. Le DDT n'a pas été détecté dans le sédiment du port lors de cette étude, mais il avait été relevé à des concentrations importantes en 1990 et en 1992 (100 µg/kg p.s.).

La dieldrine a été détectée à une teneur maximale de 4,7 µg/kg p.s. dans les « pipi », bien inférieure à ce qui avait été précédemment relevé dans les sédiments du port. Sa forte variation peut être liée à une fluctuation des apports de matières organique particulaire à laquelle elle est adsorbée.

Les courbes d'évolution des concentrations (figures 13 et 14) indiquent que le « pipi » ne serait pas un bon indicateur de la contamination par la dieldrine, l'endosulphan β, l'acétochlore, l'alachlore et le DDT pp. Il pourrait en revanche l'être pour la contamination par l'endrine, l'endosulphan α, le DDE pp et le PCB 153 de même que pour la contamination par l'aldrine, l'isodrine, la propyzamide, le procymidone, les heptachlore epoxy exo et endo et le PCB 52.

Dans ces deux cas, les teneurs augmentent avec l'arrivée des mollusques à Tahiti, indiquant que ces polluants détectés dans les 2 bioindicateurs testés, persistent dans l'environnement de l'île de Tahiti. En outre, la station dite « non polluée » de Vairao montre dans certains cas des teneurs plus élevées (propyzamide, procymidone, heptachlore epoxy exo) que la source et la station de Papeete. Ces valeurs nous rappellent que Vairao est une zone agricole et que des pesticides et herbicides y ont été (et y sont peut être encore) employés. Il serait intéressant de définir pour la suite de l'étude la station dite « non polluée » sous un bassin versant non agricole et moins peuplé, dans un lagon sous plus forte influence océanique.

5.4 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Les HAP proviennent de sources naturelles (feux de forêt et éruptions volcaniques) et aujourd'hui surtout anthropiques : pyrolyse ou combustion incomplète de matières organiques comme le pétrole, le charbon, les ordures ménagères, le carburant de moteurs à essence et diesel. Leur toxicité est d'autant plus élevée que le poids moléculaire de l'HAP est important. Le fluoranthène, utilisé comme indicateur des HAP est produit et utilisé à grande échelle (revêtements de protection des réseaux de distribution d'eau potable en acier, colorants fluorescents, chimie et pharmacie : synthèse d'agents antiviraux).

Les HAP dissous proviennent plutôt des composés plus «légers», caractéristiques de l'origine pétrolière. Les plus lourds sont hydrophobes et donc moins solubles dans l'eau qu'adsorbés sur les particules en suspension de matière organique et sur les sédiments. Bioaccumulables, lentement biodégradables, ils font partie des polluants organiques persistants (POPs), cancérigènes et mutagènes avérés ou suspectés. Huit HAP constituent des substances dangereuses prioritaires [18].

L'ensemble des données issues de ce travail sont comparées avec celles obtenues en 2006 dans des moules (*Mytilus edulis*) de Méditerranée du réseau RINBIO [9] (tableau 21).

Tableau 21 : Comparaison de teneurs en fluoranthène

Nature des échantillons et date de prélèvement	Fluoranthène (µg/kg p.s.)		
	Min	Max	Médiane
Nacres – cette étude	≤ 2,0	65,4	
Pipis – cette étude	30,4	142	
Sédiment port de Papeete – cette étude			16,7
12 Bénitiers <i>in situ</i> (5 îles) – cette étude	1,7	14,3	3,5
Moules Méditerranée 2006 [9]	0,5	12,3	2,1

Les teneurs en fluoranthène observées au cours de cette étude dans les « nacres » et les « pipi » sont nettement supérieures à celles relevées dans des bénitiers prélevés *in situ* en Polynésie ainsi que par rapport aux mesures effectuées sur les moules de Méditerranée [9].

Les mollusques sont reconnus pour être peu aptes à dégrader les HAP et on retrouve particulièrement chez eux acénaphène, anthracène, fluoranthène, naphthalène. Dans cette étude, quatre HAP ont été trouvés chez la « nacre » et six l'ont été chez le « pipi », dont anthracène, fluoranthène et naphthalène.

Il est difficile de mettre en évidence une cinétique de contamination - décontamination chez la « nacre », en particulier parce que 4 points sont en disproportion de gamme avec tous les autres. Ces points correspondent à quatre échantillons analysés au laboratoire dans une série différente des autres.

En revanche, les « pipi » semblent être de bons bioaccumulateurs des HAP sur la durée de cette étude, avec la mise en évidence de contamination dans la station de Papeete et de décontamination à la station de Vairao. Il est intéressant de noter que la station source n'est pas indemne d'HAP, et en particulier montre des teneurs plus élevées qu'aux deux stations de Tahiti pour anthracène et phénanthrène. La décontamination est bien détectée dans les « pipi » après leur arrivée à Tahiti.

Ces HAP d'origine pyrolytique (goudrons, combustions de carburants et ménagères) ont certainement une source locale.

Des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont donc présents sur les 2 sites testés, au port de Papeete comme à Vairao. L'aptitude à les bioaccumuler montrée par le « pipi » doit nous inciter à mettre en œuvre chez la « nacre » une nouvelle série expérimentale, à la fois in situ et au laboratoire pour des contaminations contrôlées.

5.5 Radioactivité

La mesure de la radioactivité dans les lagons est réalisée depuis 1962 en Polynésie, avant les premiers essais nucléaires atmosphériques de la France. A cette époque, l'environnement était déjà marqué par les retombées mondiales des essais nucléaires de la grande Bretagne en Australie et des Américains dans les îles Marshall. Les essais atmosphériques de la France, entre 1966 et 1974, ont généré des retombées radioactives qui se sont diluées au cours du temps sur l'ensemble de l'hémisphère sud dans l'atmosphère et dans l'océan.

Ajoutée à cette dilution, la décroissance radioactive des principaux radionucléides injectés dans l'environnement (tableau 22) font que cette radioactivité est de plus en plus difficile à mesurer même si les protocoles d'analyses et les moyens technologiques ont beaucoup évolués. Actuellement, les traces de radioactivité artificielle ne sont observables que dans certains produits qui ont un pouvoir de concentration naturelle. C'est le cas des bénitiers et des huîtres pour des radionucléides comme le Pu et ^{60}Co [4].

Tableau 22: Période radioactive des radionucléides artificiels mesurés

Radionucléides artificiels	Période radioactive (année)
^{60}Co	5,3
^{137}Cs	30
^{241}Am	432,7
^{238}Pu	87,7
^{239}Pu	24 100
^{240}Pu	6563

Les résultats obtenus dans les 2 espèces d'huîtres perlières sur les 2 sites de Tahiti sont comparés aux résultats obtenus sur des « nacres » et des bénitiers mesurés régulièrement dans différentes îles de Polynésie dans le cadre du suivi de la radioactivité de l'IRSN [4].

En métropole, les suivis de la radioactivité sur les littoraux sont publiés dans un rapport annuel (en ligne sur le site www.irsn.fr) et dans les rapports du programme RINBIO, coordonné par Ifremer (<http://envlit.ifremer.fr>), pour la surveillance de la radioactivité et autres polluants en méditerranée. Les données obtenues en 2009 [4, 27] sont comparées à celles de la présente étude.

5.5.1 Emetteurs gamma

Les résultats des mesures de radioactivité gamma concernent les radionucléides artificiels ^{137}Cs , ^{60}Co et ^{241}Am .

Aucune activité n'a été détectée pour ces radionucléides dans l'huître *P. margaritifera* et une seule valeur de 0,017 Bq/kg p.f. en ^{137}Cs a été mesurée dans l'espèce *P. maculata*. Tous les résultats sont inférieurs aux limites de détection de 0,24 Bq/kg p.f. pour le ^{137}Cs et le ^{60}Co et de 0,51 Bq/kg p.f. pour ^{241}Am .

Ces valeurs sont comparables aux ordres de grandeur obtenus sur des « nacres » prélevées *in situ* à Mangareva (îles Gambier) depuis 2000 (tableau 23), soient $\leq 0,03$ Bq/kg p.f. pour le ^{137}Cs . Seuls 2 résultats en 2007 et 2009 sont significatifs à Mangareva, respectivement 0,015 et 0,018 Bq/kg p.f..

Tableau 23 : Radioactivité dans des « nacres » prélevées *in situ* à Mangareva depuis 2001

Date de prélèvement	Rapport p.f./p.s.	Activité en Bq/kg p.f.		
		^{40}K	^{137}Cs	^{60}Co
07/02/01	5,8	71 ± 4	≤ 0,03	≤ 0,04
27/02/02	5,3	53 ± 4	≤ 0,03	≤ 0,04
11/02/03	7,8	86 ± 8	≤ 0,03	≤ 0,03
17/02/04	5,2	130 ± 15	≤ 0,03	≤ 0,03
18/01/05	4,5	80 ± 5	≤ 0,03	≤ 0,03
24/01/06	5,4	77 ± 3	≤ 0,03	≤ 0,03
15/01/07	3,9	79 ± 3	0,015 ± 0,004	≤ 0,01
24/02/09	5,9	72 ± 4	0,018 ± 0,007	≤ 0,03
19/02/10	2,5	66 ± 4	≤ 0,02	≤ 0,03

Sur 12 prélèvements *in situ* de bénitiers effectués en 2009 et 2010 en Polynésie française, 2 valeurs sont également significatives en ^{137}Cs : 0,012 Bq/kg p.f. (Tubuai, mars 2009) et 0,022 Bq/kg p.f. (Hao, juillet 2009). Le ^{60}Co a été mesuré significativement à la faible activité de 0,020 Bq/kg p.f. sur un unique lot de bénitiers de Tubuai en mars 2009.

Ces activités sont comparables à celles mesurées sur des bénitiers lors du suivi annuel en 2010 du LESE [4] où les valeurs maximales sont de 0,013 Bq/kg p.f. en ^{137}Cs et en ^{60}Co (tableau 24).

Tableau 24 : Radioactivité dans des bénitiers prélevés *in situ* en 2010

Prélèvement		Rapport p.f./p.s.	Activité en Bq/kg p.f.		
Lieu	Date		^{40}K	^{137}Cs	^{60}Co
Hao	26/01/10	3,6	51 ± 3	≤ 0,02	≤ 0,03
Rangiroa	20/02/10	2,5	71 ± 4	≤ 0,02	≤ 0,03
Hao	25/03/10	4,3	65 ± 4	≤ 0,03	≤ 0,04
Maupiti	09/04/10	2,6	63 ± 3	≤ 0,02	≤ 0,02
Tahiti	25/04/10	4,1	56 ± 3	0,013 ± 0,005	≤ 0,02
Rangiroa	28/04/10	4,0	53 ± 3	≤ 0,03	≤ 0,03
Tubuai	09/07/10	1,6	43 ± 3	0,012 ± 0,004	0,013 ± 0,005
Rangiroa	04/07/10	2,4	71 ± 4	0,008 ± 0,006	0,013 ± 0,006
Mangareva	09/11/10	2,2	71 ± 4	≤ 0,02	≤ 0,03

L'analyse du sédiment du port de Papeete en spectrométrie gamma indique une activité en ^{137}Cs de 0,13 Bq/kg p.s. Cette activité est du même ordre de grandeur que celles mesurées dans des sédiments prélevés à Vairao 2 mois plus tôt (tableau 25).

Tableau 25 : Radioactivité dans des sédiments prélevés en 2009 - 2010

Prélèvement				Activité en Bq/kg p.s.			
Lieu	Coordonnées	Date	Profondeur	^{40}K	^{137}Cs	^{60}Co	^{210}Pb
Port de Papeete	17°32'18" S - 149°34'40" O	24/02/2010	16m	101 ± 6	0,13 ± 0,03	≤ 0,11	84 ± 5
Vairao Ifremer	17°48'23" S - 149°17'42" O	30/12/2009	5m	53 ± 4	≤ 0,13	≤ 0,12	≤ 90
Vairao PK 8,8	17°45'35" S - 149°17'51" O	31/12/2009	0,3m	300 ± 20	0,11 ± 0,05	≤ 0,15	≤ 60

La comparaison des résultats obtenus en Polynésie et en métropole [27] est résumée dans le tableau 26. Pour le ^{137}Cs , les résultats sont souvent exprimés en LD pour les mollusques car c'est dans les muscles que les phénomènes de rétention active du césium, analogue chimique du potassium, ont lieu. Pour ce radionucléide, les mollusques ne sont pas de bons biointégrateurs. Ce sont les seuls produits marins dans lesquels on est encore capable de mesurer le ^{60}Co au-dessus de la LD en Polynésie [4].

Dans le cadre de la présente étude, les faibles quantités disponibles n'ont pas permis d'obtenir des résultats significatifs, les LD étant trop élevées. Un prélèvement d'une plus grande quantité du mollusque permettrait d'améliorer la sensibilité des mesures.

Tableau 26 : Comparaison des résultats de radioactivité

Nature des échantillons et date de prélèvements	Activité en Bq/kg p.f. (en mBq/kg p.s. pour les sédiments et en mBq/L pour les eaux)				Activité en mBq/kg p.f. (en mBq/kg p.s. pour les sédiments)			
	^{137}Cs		^{60}Co		^{238}Pu		$^{239+240}\text{Pu}$	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
« nacres » port de Papeete (lots : 14 γ , 2 α) – cette étude	≤ 0,05	≤ 0,23	≤ 0,08	≤ 0,24	0,11	0,24	1,27	1,44
« nacres » Vairao (lots : 2 γ , 1 α) – cette étude	≤ 0,09	≤ 0,09	≤ 0,10	≤ 0,11	≤ 0,21		1,40	
« nacres » Takarua (1 lot témoin) – cette étude	≤ 0,06		≤ 0,07		0,20		1,46	
« Pipis » port de Papeete (9 lots) – cette étude	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,07	≤ 0,28				
« Pipis » Vairao (2 lots) – cette étude	≤ 0,05	≤ 0,06	≤ 0,07	≤ 0,10				
« Pipis » Takapoto (1 lot témoin) – cette étude	≤ 0,05		≤ 0,07		0,13		0,62	
9 bénitiers (6 îles) – 2009 - 2010 cette étude et [4]	0,008	≤ 0,03	0,013	≤ 0,04	0,032	0,15	0,027	1,44
9 « nacres » <i>in situ</i> Mangareva – suivi LESE 2001-2010	0,015	≤ 0,30	≤ 0,01	≤ 0,04				
Mollusques littoral Atlantique-Manche (5 sites) 2009 [27]	≤ 0,02	0,07	≤ 0,03	≤ 0,40	≤ 0,001	0,007	0,0014	0,019
Sédiment port de Papeete – cette étude	0,13							
2 sédiments Vairao (2009) suivi LESE 2009	0,11	≤ 0,13						
Sédiments (6 îles) 2010 [4]	≤ 0,03	0,22						
Sédiment littoral Atlantique-Manche (7 sites) 2009 [27]	≤ 0,15	2,52	≤ 0,17	1,71	≤ 0,12		0,37	
Eau de mer Vairao 2010 [4]	0,00135							
Eau de mer littoral Atlantique-Manche (13 sites) 2009 [27]	≤ 0,00063	0,00222						

5.5.2 Emetteurs alpha

Pour le Pu, contrairement aux mesures gamma, même avec de faibles quantités mesurées, la méthode employée (extraction sélective de l'élément) et les concentrations suffisamment élevées, permettent d'obtenir des résultats significatifs pour presque toutes les mesures (tableau 26).

L'activité maximale relevée dans une « nacre » mouillée 4 mois au port de Papeete est de 0,24 mBq/kg p.f. en ^{238}Pu et de 1,46 mBq/kg p.f. en $^{239+240}\text{Pu}$ mesurée dans une « nacre » originaire de Takaroa.

Avec des teneurs 2 fois plus élevées en Pu, la « nacre » semble être un meilleur bio accumulateur que le pipi (pour lequel 1 seule mesure a été faite).

Dans l'ensemble des analyses de Pu réalisées par le LESE ces dernières années, les mesures sont pratiquement toujours inférieures à la LD sauf généralement pour les bénitiers.

En 2008, 6 échantillons (dont 5 bénitiers et 1 poisson) sur 13 mesurés sont supérieurs à la LD, la valeur maximale est détectée dans un bénitier prélevé à Tubuai : 0,50 mBq/kg p.f. en ^{238}Pu et 3,7 mBq/kg p.f. en $^{239+240}\text{Pu}$. En 2009, les 17 échantillons mesurés (aucun bénitier n'a été mesuré) donnent des résultats Pu en LD.

6 Conclusion et perspectives

L'objectif premier de cette étude était de valider un mollusque bivalve comme bioindicateur de la présence de plusieurs contaminants chimiques (métaux, pesticides, hydrocarbures) et radioactifs en vue de la mise en œuvre progressive d'un réseau de surveillance de la contamination des eaux lagunaires par analyses de transplants. Deux sites expérimentaux ont été retenus à Tahiti (Papeete et Vairao) avec la mise en place de paniers de bivalves en 2010 - 2011.

L'espèce de mollusque bivalve visée était l'huître perlière *Pinctada margaritifera*, présente à l'état sauvage dans tous les archipels, en élevage dans la plupart des atolls et objet de plusieurs programmes scientifiques depuis plus de 20 ans. Elle a été comparée à la petite huître perlière, *Pinctada maculata*, également très répandue à l'état sauvage. Aucun autre bivalve de Polynésie n'est à notre connaissance à la fois disponible en grandes quantités, transportable, élevable en pleine eau, ni aussi largement distribué dans les îles.

La logistique et la mise en place des mouillages, l'approvisionnement des individus, la pose des paniers de stabulation, les opérations de prélèvement et de traitement des échantillons ont été testés et approuvés. Les lots à répartir entre futures stations de suivi seraient de préférence composés de 60 à 80 « nacres » d'environ 80 mm, de façon à disposer, en toute saison, d'échantillons homogènes, peu variables du fait de la gamétogenèse. Une amélioration pourra être également apportée sur la quantité des prélèvements nécessaire à la mesure de la radioactivité afin d'abaisser les limites de détection.

Notre étude a montré que les « nacres » supportaient les transplantations nécessaires à l'implantation de stations de surveillance et des durées de stabulation de plusieurs mois. Dans le cadre de l'élevage perlicole, les transferts entre sites se font d'ailleurs de manière fréquente. En revanche les « pipi » semblent mal supporter les conditions de transfert et stabulation de cette étude et ne nous paraît pas devoir être retenue.

Concernant les métaux lourds :

- les teneurs mesurées en cadmium sont au dessus du seuil CE (réglementation sur la consommation des mollusques) sur les 3 sites, la source d'approvisionnement et les 2 stations d'étude.

- les teneurs mesurées en mercure et en plomb sont insuffisantes pour mettre en évidence un effet d'accumulation dans la « nacre ». Ce qui ne signifie pas forcément que les huîtres perlières sont de mauvais intégrateurs de ces métaux mais que leurs concentrations sont très faibles dans les milieux lagunaires étudiés comme cela a déjà été mis en évidence lors des études des années 80 avec des nacres, des moules ou des bénitiers.

Il est souhaitable d'évaluer pour ces trois métaux les facteurs de concentration milieu - organisme.

- les résultats obtenus pour le zinc, le chrome, le fer et le cuivre montrent que la nacre semble être un bon bioaccumulateur. Les teneurs en zinc sont particulièrement élevées, entre 1900 et 2900 mg/kg p.s., de l'ordre de 100 fois plus élevés que tous les résultats obtenus dans le passé

avec des moules, des bécotiers et des nacrés à Tahiti ou avec des moules du réseau RINBIO en méditerranée actuellement.

Concernant les pesticides :

L'étude n'a pas permis de montrer de phénomènes nets d'accumulation dans les nacrés pour ces polluants, les concentrations mesurées étant en limite de détection ou anormalement élevées pour 4 échantillons. Ces derniers résultats semblent indiquer des problèmes de mesure.

La mise en évidence de cinétiques d'accumulation pour ces pesticides devrait être réalisée sur des sites en aval de productions agricoles.

Concernant les HAP :

Quelques HAP ont bien été décelés dans les nacrés lors de cette étude sans démontrer de phénomène d'accumulation. Comme dans le cas des pesticides, 4 séries de valeurs anormalement élevées semblent indiquer des problèmes de mesure.

Concernant les radionucléides :

La « nacre » est un excellent indicateur du Pu, émetteur alpha. Elle le sera aussi pour le ^{60}Co avec des quantités analysées plus importantes. C'est un des rares organismes dans lequel on est capable aujourd'hui de déterminer ces teneurs afin d'en suivre l'évolution dans l'environnement. En ce qui concerne le ^{137}Cs , les meilleurs bioindicateurs sont des poissons comme le mérrou car ce radionucléide est principalement présent dans les muscles, les bivalves comme la nacre ne sont donc pas adaptés à la détermination de ces teneurs.

A la fois par ses caractéristiques biologiques et les réponses montrées en bioaccumulation, la « nacre » pourra être utilisée comme bioindicateur de plusieurs contaminants chimiques et radioactifs. C'est un bivalve qu'on pourra déployer dans le cadre de la mise en place progressive de stations de surveillance dans les lagons.

Les deux premières stations d'un futur réseau ont été disposées en fin de cette étude, à Vairao et au port de Papeete, comme prévu dans le cadre du présent contrat.

La suite de nos travaux est inscrite dans une proposition validée pour 2012 - 2013 dans le contrat de projet Etat - Pays. Elle comprend les 2 aspects suivants :

- l'étude expérimentale des cinétiques de contamination des « nacrés » en laboratoire contrôlé et la détermination des facteurs de concentration entre milieu et organisme.

- l'augmentation progressive du nombre des stations, en particulier en aval de zones agricoles, qui constitueront le réseau qui se fera dès 2012 avec la mise en place de quatre nouvelles stations.

7 Références

- [1] Fraizier A., Debiard J-P., Franck D., Benente P., Jouen R., *Observations sur diverses formes de pollution d'un secteur littoral de Tahiti*. Rapport CEA-R- 5307, (1985) 41p.
- [2] De Nardi J-L., *Etude sur les caractéristiques des eaux de lagon exploitées en Polynésie française*. Rapport CEA R-5487, (1989) 25p. + annexes.
- [3] Cariès J.C., *Surveillance de la qualité du milieu marin dans la circonscription du Port Autonome de Papeete et autour de Tahiti dans le cadre du Réseau Territorial d'Observation*. Proceedings ISRS Congress, Nouméa, (1991) p17-24.
- [4] Bouisset P. et Bernagout S. *Surveillance de la radioactivité en Polynésie française – Année 2010 et suivi de l'impact de l'accident de Fukushima en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie*. Rapport DEI/SESURE 2011- 40, (2011) 46p.
- [5] Goldberg, E.D. *The mussel watch*. Mar. Pollut. Bull. 6, 111 (1975).
- [6] Cossa, D. *A review of the use of Mytilus spp. as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal water*. Oceanol. Acta 12, 417-432 (1989).
- [7] Claisse, D., *Chemical contamination of French coast: the result of a ten year mussel watch*. Mar. Pollut. Bull. 20, 523-528 (1989).
- [8] Andral B., Stanisière J.Y., Sauzade D., Damier E., Thebault H., Galgani F., Boissery P., 2004. *Monitoring chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussel caging*. Mar. Pollut. Bull. 49 (2004), 704–712.
- [9] Andral B. et Tomasino C., 2006. *Réseau Intégrateurs Biologiques - Rinbio 2006 - Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2006*. RST.DOP/LER-PAC/07-24 (déc. 2007) 102p.
- [10] *Réseau Intégrateurs Biologiques - Rinbio 2000 - Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2000*. RST (nov 2001).
- [11] Andral B. *Le réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO) en Méditerranée - Evaluation de la contamination chimique basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules - Protocole expérimental* (2003) 13p.
- [12] Adjeroud M., Lagouy E., Lison De Loma T., Penin L., 2007. *Réseau de Surveillance du milieu lagunaire de Tahiti – RST 2007 – Rapport final* (2007) 51p.
- [13] Pouvreau, S., Jonquière, G., Buestel, D., 1999. *Filtration by the pearl oyster, Pinctada margaritifera, under conditions of low seston load and small particle size in a tropical lagoon habitat*. Aquaculture (1999), 176, 295-314.
- [14] Sarver, D., Sims, N.A., Harmonn, V., 2003. Pearl oysters as a sensitive, sessile monitor for non-point source heavy metal pollution. South Pacific Commission Pearl Oyster Information Bulletin (2003) 16, 13-14.
- [15] Pouvreau, S., *Etude et modélisation des mécanismes impliqués dans la croissance de l'huître perlière, Pinctada margaritifera, au sein de l'écosystème conchylicole du lagon de l'atoll de Takapoto (Polynésie française)*. Thèse de Doctorat, mention Halieutique & Aquaculture, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes (1999).
- [16] Descamps B., Bernard C. *Surveillance de la radioactivité en Polynésie française – Année 2004*. Rapport IRSN/2005-23 (2005) 40p. + annexes.
- [17] Règlement CE 466/2001 du 8 mars 2001 et Règlement CE 221/2002 du 6 février 2002.
- [18] Directive Cadre sur l'Eau, annexe IX et X de la directive 2000/60/CE.
- [19] De Nardi J-L. *Etude sur les caractéristiques des eaux de lagon exploitées en Polynésie française*. Rapport CEA R-5487 (1989) 25p. + annexes

- [20] Fraizier A., Franck D. *Rôle de deux rivières de zone urbaine ou industrielle de Papeete (Tahiti Polynésie française) dans le transfert de divers métaux lourds en milieu lagunaire (Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Fe)*. Rapport CEA-R-5303 (1985) 13p. + annexes.
- [21] Trescinski M., Spuig JC., Brenez I., Tavanae M. *Surveillance de la qualité du milieu marin de la rade et du port de Papeete – Campagne 1993*. Rapport IPSN/DPHD/LESE-94-03 (1994) 30p.
- [22] Fraizier A., Debiard J-P., Franck D., Benente P., Jouen R. *Observations sur diverses formes de pollution d'un secteur littoral de Tahiti*. Rapport CEA-R- 5307 (1985) 41p.
- [23] Urbietta C., Pollution par le Cd dans les Pertuis Charentais, Rapport Ifremer, Convention n° 08/RPC-A-29 du 19 mai 2008, (2008) 35p.
- [24] Bendell L. I, Feng C., *Spatial and temporal variations in cadmium concentrations and burdens in the Pacific oyster (Crassostrea gigas) sampled from the Pacific North-West*, Marine Pollution Bul. 58: 1137-1143 (2009).
- [25] Black Pearls, Inc. Use of pearl oysters as sensitive biomonitors for heavy metal contamination. National Defense Center of Excellence for Research in Ocean Sciences, CEROS FY03 contract 50590 (2005).
- [26] De Nardi J-L, Raymond A., Ricard M. *Etude des conséquences pour le lagon de Taunooa des travaux d'extension du port de Papeete*. Rapport CEA R-5222 (1983) 108p.
- [27] *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2009 – Synthèse des résultats des réseaux de surveillance de l'IRSN*, (2010) 175p.

8 Liste des annexes

Annexe 1 : Protocoles analytiques

Annexe 2 : Contaminants chimiques dans l'huître perlière *Pinctada margaritifera*

Annexe 3 : Contaminants chimiques dans l'huître perlière *Pinctada maculata*

Annexe 4 : Contaminants chimiques dans les bénitiers *in situ*

Annexe 5 : Contaminants chimiques dans le sédiment du port de Papeete

Annexe 1 : Protocoles analytiques

Tableau A1-1 : Protocoles analytiques des métaux lourds et HAP communiqués par le laboratoire

Contaminant	Méthode analytique	Limite de détection µg/kg p.s.	Incertitude de mesure %
Cd	AAS * ou ICP-MS *	0,05	10
Cr	GFAAS *	0,1	15
Cu	ICP * ou ICP-MS	0,1	15
Fe	ICP ou ICP-MS	0,5	15
Hg	vapeurs froides fluorescence atomique	0,01	20
Pb	GFAAS ou ICP-MS	0,1	15
Zn	ICP	0,5	10
naphtalène	GC / MS *	1,0 ou 2,0	100
acénaphthylène	GC / MS	1,0 ou 2,0	nd
acénaphthène	GC / MS	1,0 ou 2,0	80
fluorène	GC / MS	1,0 ou 2,0	80
phénanthrène	GC / MS	1,0 ou 2,0	40
anthracène	GC / MS	1,0 ou 2,0	30
fluoranthène	GC / MS	1,0 ou 2,0	40
pyrène	GC / MS	1,0 ou 2,0	40
benzo (a) anthracène	GC / MS	1,0 ou 2,0	30
chrysène	GC / MS	1,0 ou 2,0	40
benzo (b) fluoranthène	GC / MS	1,0 ou 2,0	30
benzo (k) fluoranthène	GC / MS	1,0 ou 2,0	30
benzo (a) pyrène	GC / MS	1,0 ou 2,0	30
indéno (1,2,3-cd) pyrène	GC / MS	5,0	30
dibenzo (a,h) anthracène	GC / MS	5,0	50
benzo (g,h,i) périlène	GC / MS	5,0	30

* GF : Four graphite

AAS : Spectrométrie d'absorption atomique

ICP : Torche à plasma

GC : Chromatographie en phase gazeuse

MS : Spectrométrie de masse

Tableau A1-2 : Protocoles analytiques des pesticides organochlorés communiqués par le laboratoire

Contaminant	Méthode analytique	Limite de détection	Incertitude de mesure
		µg/kg p.s.	%
dieldrine	GC / ECD *	1,0	35
endrine	GC / ECD	1,0	30
Alpha HCH	GC / ECD	1,0	35
Beta HCH	GC / ECD	1,0	50
Delta HCH	GC / ECD	1,0	40
hexacholobenzène	GC / ECD	1,0	65
gamma HCH lindane	GC / ECD	1,0	50
heptachlore	GC / ECD	1,0	55
aldrine	GC / ECD	1,0	40
isodrine	GC / ECD	1,0	90
heptachlore epoxy exo	GC / ECD	1,0	40
heptachlore epoxy end	GC / ECD	1,0	40
DDE op	GC / ECD	1,0	35
DDE pp	GC / ECD	1,0	55
endosulfan alpha	GC / ECD	1,0	60
DDD op	GC / ECD	1,0	40
DDD pp	GC / ECD	1,0	45
endosulfan beta	GC / ECD	1,0	45
DDT op	GC / ECD	1,0	30
DDT pp	GC / ECD	1,0	45
endosulfan sulfate	GC / ECD	5,0	45
PCB 28	GC / ECD	1,0	55
PCB 52	GC / ECD	1,0	105
PCB 101	GC / ECD	1,0	80
PCB 118	GC / ECD	1,0	35
PCB 153	GC / ECD	1,0	50
PCB 105	GC / ECD	1,0	60
PCB 138	GC / ECD	1,0	40
PCB 156	GC / ECD	1,0	50
PCB 180	GC / ECD	1,0	40
PCB 35	GC / ECD	10,0	nd
acétochlore	GC / ECD	10,0	35
alachlore	GC / ECD	10,0	35
propyzamide	GC / ECD	10,0	35
procymidone	GC / ECD	10,0	35
diflufénicanil	GC / ECD	10,0	35
lambda cyhalothrine	GC / ECD	10,0	35

nd : non défini

* GC : Chromatographie en phase gazeuse

ECD : Détecteur à capture d'électron

Annexe 2 : Contaminants chimiques dans l'huître perlière *Pinctada margaritifera*

Tableau A2-1 : Teneurs en métaux lourds dans les « nacres »

Prélèvement		Concentrations en métaux lourds en mg/kg p.s.						
Lieu	Date	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fer	Mercur	Plomb	Zinc
Takaroa	16-mars	7,06	≤ 0,1	2,6	152	0,05	0,2	2 210
Port PPT	30-mars	7,25	≤ 0,1	4,2	484	0,05	0,2	2 290
Port PPT	13-avr	6,71	≤ 0,1	3,6	377	0,05	0,2	2 450
Port PPT	27-avr	7,37	≤ 0,1	3,6	412	0,05	0,1	2 600
Port PPT	11-mai	5,83	≤ 0,1	3,5	340	0,05	0,2	2 050
Port PPT	25-mai	5,62	2,9	4,4	513	0,06	0,2	2 400
Port PPT	08-juin	4,95	2,5	4,4	307	0,06	0,1	2 590
Port PPT	22-juin	6,00	3,3	4,0	523	0,06	0,2	2 860
Port PPT	06-juil	5,35	2,0	3,9	375	0,06	0,2	2 640
Vairao	06-juil	7,41	1,3	3,1	183	0,06	≤ 0,1	2 000
Vairao	20-juil	6,4	1,9	3,6	194	0,06	≤ 0,1	2 660
Vairao	03-août	5,15	1,3	2,6	115	0,06	≤ 0,1	2 330
Vairao	17-août	5,51	1,3	2,2	121	0,04	0,1	2 420
Vairao	31-août	5,22	1,6	3,1	112	0,06	≤ 0,1	2 090
Vairao	14-sept	4,74	1,8	2,3	98,7	0,05	≤ 0,1	2 020
Vairao	28-sept	6,63	1,2	2,6	196	0,06	0,1	2 530
Vairao	28-sept	6,25	1,4	2,6	204	0,06	≤ 0,1	1 920

Tableau A2-2 : Teneurs en pesticides organochlorés dans les « nacres »

Prélèvement		Concentrations en pesticides organochlorés en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Aldrine	Isodrine	Dieldrine	Endrine	Endosulfan alpha	Endosulfan béta	Endosulfan sulfate	Beta HCH
Takaroa	16-mars	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	30-mars	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	13-avr	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	27-avr	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	11-mai	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	25-mai	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	08-juin	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	22-juin	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	06-juil	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	06-juil	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	20-juil	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	03-août	1,2	4,2	1,6	1,0	1,2	≤ 1,0	≤ 1,0	1,7
Vairao	17-août	1,6	2,6	3,1	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	31-août	1,5	6,5	2,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	14-sept	1,5	3,3	2,7	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0

Suite du tableau A2-2 : Teneurs en pesticides organochlorés dans les « nacres »

Prélèvement		Concentrations en pesticides organochlorés en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Acéto chlore	Ala chlore	Propy zamide	Procymidone	DDT pp	DDE pp	DDE op	DDT op
Takaroa	16-mars	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	30-mars	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	13-avr	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	27-avr	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	11-mai	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	25-mai	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	08-juin	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	22-juin	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	06-juil	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	06-juil	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	20-juil	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	03-août	74,1	13	15,6	27,4	9,6	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	17-août	35,8	≤ 10	21,8	≤ 10	1,4	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	31-août	61,7	≤ 10	21,4	25,9	11,1	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	14-sept	49,3	≤ 10	20,6	18,6	11,4	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0

Prélèvement		Concentrations en pesticides organochlorés en µg/kg p.s.						
Lieu	Date	Heptachlore epoxy exo	Heptachlore epoxy end	PCB 52	PCB 101	PCB 118	PCB 153	PCB 138
Takaroa	16-mars	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	30-mars	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	13-avr	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	27-avr	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	11-mai	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	25-mai	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	08-juin	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	22-juin	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	06-juil	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	06-juil	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	20-juil	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	03-août	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	17-août	≤ 1,0	≤ 1,0	1,2	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	31-août	≤ 1,0	≤ 1,0	1,4	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	14-sept	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0

Tableau A2-3 : Teneurs en HAP dans les « nacres »

Prélèvement		Concentrations en HAP en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Naphtalène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Pyrène	Acénaphthylène	Acénaphtène	Fluorène
Takaroa	16-mars	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	3,9	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Port PPT	30-mars	4,7	3,7	≤ 2,0	2,9	7,5	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Port PPT	13-avr	6,4	4,3	≤ 2,0	2,6	5,9	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Port PPT	27-avr	≤ 2,0	4,4	≤ 2,0	2,7	6,1	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Port PPT	11-mai	≤ 2,0	4,9	≤ 2,0	3,3	8,8	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Port PPT	25-mai	9,0	4,1	≤ 2,0	2,1	3,9	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Port PPT	08-juin	2,3	4,8	≤ 2,0	3,2	7,8	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Port PPT	22-juin	≤ 2,0	4,3	≤ 2,0	3,5	7,1	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Port PPT	06-juil	≤ 2,0	4,3	≤ 2,0	2,8	6,5	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Vairao	06-juil	≤ 2,0	4,1	≤ 2,0	2,1	5,3	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Vairao	20-juil	3,0	3,9	≤ 2,0	≤ 2,0	3,7	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Vairao	03-août	1,3	30,7	≤ 1,0	49,3	292	2,4	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	17-août	≤ 1,0	22,9	≤ 1,0	65,4	367	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	31-août	3,7	21,3	≤ 1,0	54,5	≤ 1,0	1,5	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	14-sept	2,6	19,1	≤ 1,0	55,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	≤ 2,0	2,1	≤ 2,0	≤ 2,0	2,2	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Vairao	28-sept	≤ 2,0	≤ 2,1	7,6	4,9	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0

Prélèvement		Concentrations en HAP en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Benzo (a) anthracène	Chrysène	Benzo (b) fluoranthène	Benzo (k) fluoranthène	Benzo (a) pyrène	Indéno (1,2,3-cd) pyrène	Dibenzo (a,h) anthracène	Benzo (g,h,i) perylène
Takaroa	16-mars	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	30-mars	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	13-avr	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	27-avr	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	11-mai	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	25-mai	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	08-juin	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	22-juin	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	06-juil	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	06-juil	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	20-juil	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	03-août	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	17-août	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	31-août	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	14-sept	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	28-sept	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	28-sept	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0

Annexe 3 : Contaminants chimiques dans l'huître perlière *Pinctada maculata*

Tableau A3-1 : Teneurs en métaux lourds dans les « pipi »

Prélèvement		Concentrations en métaux lourds en mg/kg p.s.						
Lieu	Date	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fer	Mercuré	Plomb	Zinc
Takapoto	16-mars	61,7	1,3	4,7	211	0,04	0,2	1 750
Port PPT	30-mars	41,7	2,2	5,5	347	0,09	0,3	2 720
Port PPT	13-avr	50,8	2,3	6,6	399	0,05	0,2	2 980
Port PPT	11-mai	32,7	2,2	8,2	375	0,05	0,2	2 580
Port PPT	08-juin	47,9	2,2	6,6	312	0,05	0,2	2 980
Port PPT	06-juil	48,1	1,6	11,6	449	0,07	0,4	3 280
Vairao	07-juil	50,2	1,5	4,0	329	0,07	≤ 0,1	3 200
Vairao	20-juil	53,5	1,2	7,8	329	0,06	≤ 0,1	4 120
Vairao	03-août	48,5	1,3	4,8	193	0,05	≤ 0,1	3 590
Vairao	17-août	53,5	1,2	5,1	229	0,06	≤ 0,1	3 790
Vairao	28-sept	47,9	1,4	3,4	230	0,06	≤ 0,1	3 230
Vairao	29-sept	72,2	1,1	4,1	327	0,08	≤ 0,1	2 320

Tableau A3-2 : Teneurs en pesticides organochlorés dans les « pipi »

Prélèvement		Concentrations en pesticides organochlorés en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Aldrine	Isodrine	Dieldrine	Endrine	Endosulfan alpha	Endosulfan beta	Endosulfan sulfate	Beta HCH
Takaroa	16-mars	1,3	1,6	2,8	≤ 1,0	1,6	2,8	≤ 5,0	≤ 1,0
Port PPT	30-mars	3	1,7	2,6	≤ 1,0	2,8	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 1,0
Port PPT	13-avr	1,6	1,4	≤ 1,0	≤ 1,0	2,7	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 1,0
Port PPT	11-mai	2,7	4	1,8	≤ 1,0	≤ 1,0	1,1	≤ 5,0	≤ 1,0
Port PPT	08-juin	4,1	13,2	4,1	1,3	≤ 1,0	1,3	9,2	≤ 1,0
Port PPT	06-juil	4,3	2,2	4,7	12,1	9,4	3	≤ 5,0	≤ 1,0
Vairao	07-juil	3,3	3,2	2,7	1,1	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 1,0
Vairao	20-juil	2,8	1,3	≤ 1,0	1,4	2	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 1,0
Vairao	03-août	3,2	3,6	1,5	≤ 1,0	1,2	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 1,0
Vairao	17-août	3,8	4,1	1,5	≤ 1,0	2,4	3,1	≤ 5,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	3,6	3,8	1,8	≤ 1,0	≤ 1,0	1,2	≤ 5,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	3,3	4,4	2,6	≤ 1,0	1,4	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 1,0

Prélèvement		Concentrations en pesticides organochlorés en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Acétochlore	Alachlore	Propyzamide	Procymidone	DDT pp	DDE pp	DDE op	DDT op
Takaroa	16-mars	59,1	23,7	19,6	18,8	7,5	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	30-mars	44,8	11,7	26,1	23,6	4,5	1,4	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	13-avr	23,7	≤ 10	23,3	25,7	5,6	2,1	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	11-mai	39,2	≤ 10	24,6	20,0	4,8	1,9	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	08-juin	60,3	34,9	25,5	29,5	6,0	1,1	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	06-juil	33,4	≤ 10	12,3	≤ 10	2,4	3,2	1,3	1,7
Vairao	07-juil	53,0	21,2	49,4	30,1	3,5	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 4,0
Vairao	20-juil	42,8	19,9	24,7	16,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	03-août	17,9	16,7	26,5	14,0	7,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	17-août	58,0	31,0	38,3	19,4	4,5	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	40,7	20,1	29,2	14,9	7,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	49,0	20,4	46,2	20,9	2,7	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0

Suite du tableau A3-2 : Teneurs en pesticides organochlorés dans les « pipi »

Prélèvement		Concentrations en pesticides organochlorés en µg/kg p.s.						
Lieu	Date	Heptachlore epoxy exo	Heptachlore epoxy end	PCB 52	PCB 101	PCB 118	PCB 153	PCB 138
Takaroa	16-mars	1,3	1,7	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	30-mars	3,0	2,6	1,3	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	13-avr	2,3	2,1	1,5	≤ 1,0	≤ 1,0	1,0	≤ 1,0
Port PPT	11-mai	2,8	3,2	1,2	≤ 1,0	≤ 1,0	2,3	1,2
Port PPT	08-juin	4,5	2,5	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	1,6	≤ 1,0
Port PPT	06-juil	3,2	2,9	2,3	5,0	2,2	2,1	1,4
Vairao	07-juil	4,9	2,5	2,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	20-juil	3,0	2,2	1,7	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	03-août	2,4	2,5	2,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	17-août	4,2	4,5	1,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	2,3	2,7	1,4	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	3,9	3,2	1,7	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0

Tableau 27 : Teneurs en HAP dans les « pipi »

Prélèvement		Concentrations en HAP en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Naphtalène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Pyrène	Acénaphthylène	Acénaphtène	Fluorène
Takapoto	16-mars	≤ 1,0	55,3	2,4	54,9	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	30-mars	8,1	31,4	1,5	94,9	≤ 1,0	≤ 1,0	2,2	1,7
Port PPT	13-avr	1,8	22,0	≤ 1,0	30,4	199	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	11-mai	≤ 1,0	21,6	1,3	34,6	215	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	08-juin	4,4	28,5	1,0	60,5	422	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	06-juil	648	69,8	4,3	142	773	1,1	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	07-juil	5,9	43,3	1,9	51,4	303	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	20-juil	21,2	24,5	≤ 1,0	67,6	≤ 1,0	2,2	≤ 1,0	≤ 1,0
Port PPT	03-août	75,0	40,3	2,1	90,5	≤ 1,0	2,5	≤ 1,0	2,4
Vairao	17-août	67,8	30,0	1,1	76,2	374	1,1	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	28-sept	35,8	27,2	≤ 1,0	44,1	280	1,3	≤ 1,0	≤ 1,0
Vairao	29-sept	8,6	27,9	1,1	51,1	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0

Prélèvement		Concentrations en HAP en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Benzo (a) anthracène	Chrysène	Benzo (b) fluoranthène	Benzo (k) fluoranthène	Benzo (a) pyrène	Indéno (1,2,3-cd) pyrène	Dibenzo (a,h) anthracène	Benzo (g,h,i) péricène
Takapoto	16-mars	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	30-mars	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	13-avr	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	11-mai	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	08-juin	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	06-juil	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	6,3	≤ 5,0
Port PPT	07-juil	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	20-juil	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Port PPT	03-août	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	17-août	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	28-sept	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Vairao	29-sept	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0

Annexe 4 : Contaminants chimiques dans les bécotiers *Tridacna maxima in situ*

Tableau A4-1 : Teneurs en métaux lourds dans les bécotiers *in situ*

Prélèvement		Concentrations en métaux lourds en mg/kg p.s.						
Lieu	Date	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fer	Mercure	Plomb	Zinc
Hao	mars-09	0,54	1,6	2,5	21,1	0,08	1,1	16,8
Tubuai	mars-09	0,99	1,4	1,0	27,7	0,35	1,6	9,5
Tahiti	avr-09	0,98	0,5	1,4	47,3	0,02	0,1	13,9
Hao	sept-09	0,76	1,8	2,0	98,9	0,10	1,3	27,3
Maupiti	oct-09	1,36	1,0	1,4	22,8	0,14	2,4	16,0
Tubuai	oct-09	0,88	1,4	0,9	27,7	0,02	≤ 0,1	5,8
Hao	nov-09	0,53	1,6	1,5	374	0,08	1,6	19,6
Tahiti	dec-09	0,91	0,8	1,2	114	0,02	0,1	15,7
Hao	janv-10	0,76	0,8	1,1	25,3	0,05	0,1	14,3
Rangiroa	fev-10	0,42	2,1	0,7	26,9	0,09	0,9	11,8
Hao	mars-10	0,90	1,4	2,6	36,2	0,13	0,7	21,8
Maupiti	avr-10	0,73	1,0	1,4	41,3	0,18	2,0	11,1

Tableau A4-2 : Teneurs en PCB dans les bécotiers *in situ*

Prélèvement		Concentrations en PCB en µg/kg p.s.									
Lieu	Date	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 118	PCB 153	PCB 105	PCB 138	PCB 156	PCB 180	PCB 35
Hao	mars-09	1,7	4,6	4,0	≤1,0	2,0	1,6	1,4	≤1,0	≤1,0	≤10
Tubuai	mars-09	2,3	4,5	2,3	≤1,0	≤1,0	≤1,0	1,1	≤1,0	≤1,0	≤10
Tahiti	avr-09	4,2	7,1	2,0	≤1,0	1,7	1,4	1,4	≤1,0	≤1,0	≤10
Hao	sept-09	≤1,0	4,2	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤10
Maupiti	oct-09	≤1,0	3,3	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤10
Tubuai	oct-09	≤1,0	3,6	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤10
Hao	nov-09	≤1,0	3,7	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤10
Tahiti	dec-09	≤1,0	3,5	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤10
Hao	janv-10	1,6	2,7	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤10
Rangiroa	fev-10	≤1,0	1,2	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤10
Hao	mars-10	≤1,0	1,2	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤10
Maupiti	avr-10	≤1,0	1,6	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤10

Tableau A4-3 : Teneurs en pesticides organochlorés dans les bénitiers *in situ*

Prélèvement		Concentrations en pesticides organochlorés en µg/kg p.s.									
Lieu	Date	Alpha HCH	Beta HCH	Delta HCH	Lindane	DDE op	DDE pp	DDD op	DDD pp	DDT op	DDT pp
Hao	mars-09	2,2	≤1,0	≤1,0	≤1,0	2,4	10,8	≤1,0	≤1,0	12,1	10,3
Tubuai	mars-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	5,5	≤1,0	≤1,0	2,9	3,5
Tahiti	avr-09	1,7	≤1,0	≤1,0	1,2	1,1	15,0	≤1,0	≤1,0	4,9	5,4
Hao	sept-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	1,4	≤1,0	≤1,0	1,0
Maupiti	oct-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	1,2	1,3
Tubuai	oct-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	1,0
Hao	nov-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	1,1	≤1,0	≤1,0	2,4	1,0
Tahiti	dec-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	2,0	≤1,0	1,7	1,5
Hao	janv-10	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	1,1	≤1,0	≤1,0	≤1,0
Rangiroa	fev-10	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0
Hao	mars-10	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	1,4	1,5	≤1,0	2,4	1,8
Maupiti	avr-10	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	3,1	4,1

Prélèvement		Concentrations en pesticides organochlorés en µg/kg p.s.									
Lieu	Date	Endrine	Hexachloro benzène	Hepta chlore	Aldrine	Isodrine	Heptachlore epoxy exo	Heptachlore epoxy end	Endo sulfan alpha	Endo sulfan beta	Endo sulfan sulfate
Hao	mars-09	≤10	≤1,0	1,5	20,4	24,5	4,9	3,5	6,8	8,7	13,0
Tubuai	mars-09	17,3	≤1,0	1,8	14,0	10,5	3,4	≤1,0	3,4	4,2	≤5,0
Tahiti	avr-09	≤10	≤1,0	3,7	5,0	3,0	2,2	≤1,0	4,3	1,5	≤5,0
Hao	sept-09	≤10	≤1,0	1,3	5,5	≤1,0	6,8	1,0	1,5	1,8	≤5,0
Maupiti	oct-09	6,1	≤1,0	1,2	4,7	2,7	2,9	1,0	≤1,0	1,4	≤5,0
Tubuai	oct-09	6,1	≤1,0	1,1	3,2	2,5	4,4	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0
Hao	nov-09	6,0	≤1,0	1,2	12,4	1,4	5,0	≤1,0	1,0	≤1,0	≤5,0
Tahiti	dec-09	10,8	≤1,0	1,0	4,2	1,9	4,4	1,2	≤1,0	≤1,0	≤5,0
Hao	janv-10	2,3	≤1,0	1,0	8,1	1,7	1,4	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0
Rangiroa	fev-10	1,8	≤1,0	1,4	4,9	1,1	3,7	≤1,0	≤1,0	1,3	≤5,0
Hao	mars-10	5,5	≤1,0	≤1,0	8,5	≤1,0	5,8	≤1,0	1,8	2,3	≤5,0
Maupiti	avr-10	2,0	≤1,0	1,2	2,4	1,2	2,1	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0

Prélèvement		Concentrations en pesticides organochlorés en µg/kg p.s.						
Lieu	Date	Acétochlore	Alachlore	Propyzamide	Procymidone	Diflufénicanil	Lambda cyhalothrine	Napropamide
Hao	mars-09	99,8	57,1	60,4	69,1	≤10	≤10	≤50
Tubuai	mars-09	18,1	46,7	29,9	30,8	≤10	≤10	≤50
Tahiti	avr-09	≤10	12,5	15,4	21,6	≤10	≤10	≤50
Hao	sept-09	10,1	14,7	19,2	≤10	≤10	≤10	≤50
Maupiti	oct-09	14,0	13,5	10,9	≤10	≤10	≤10	≤50
Tubuai	oct-09	≤10	105	15,5	≤10	≤10	≤10	≤50
Hao	nov-09	≤10	27,7	11,6	≤10	≤10	≤10	≤50
Tahiti	dec-09	12,8	28,7	19,7	13,2	≤10	≤10	≤50
Hao	janv-10	≤10	86,0	13,5	≤10	≤10	≤10	≤50
Rangiroa	fev-10	10,5	42,7	≤10	≤10	≤10	≤10	≤50
Hao	mars-10	10,2	23,4	15,5	13,8	≤10	≤10	≤50
Maupiti	avr-10	≤10	33,4	≤10	≤10	≤10	≤10	≤50

Tableau A4-4 : Teneurs en HAP dans les bémitiers prélevés *in situ*

Prélèvement		Concentrations en HAP en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Naphtalène	Acénaphtylène	Acénaphtène	Fluorène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Pyrène
Hao	mars-09	11,2	≤1,0	37,3	8,7	30,4	1,7	14,3	10,7
Tubuai	mars-09	9,2	≤1,0	13,6	3,9	16,6	1,1	6,1	3,8
Tahiti	avr-09	12,3	≤1,0	15,0	4,8	25,4	1,7	10,5	7,0
Hao	sept-09	7,9	≤1,0	9,4	2,1	9,9	≤1,0	3,2	2,4
Maupiti	oct-09	10,0	≤1,0	22,3	3,7	10,1	≤1,0	3,5	2,9
Tubuai	oct-09	9,6	≤1,0	16,6	3,7	11,2	≤1,0	2,9	2,8
Hao	nov-09	9,6	≤1,0	20,6	3,2	9,6	≤1,0	3,5	3,5
Tahiti	dec-09	7,2	≤1,0	10,2	3,0	11,0	1,1	3,7	2,8
Hao	janv-10	5,8	≤1,0	5,0	2,4	9,7	≤1,0	2,6	2,0
Rangiroa	fev-10	4,9	≤1,0	3,5	1,8	6,2	≤1,0	1,9	1,7
Hao	mars-10	6,0	≤1,0	5,8	1,8	8,5	≤1,0	3,7	2,8
Maupiti	avr-10	4,3	≤1,0	4,2	1,9	4,6	≤1,0	1,7	1,6

Prélèvement		Concentrations en HAP en µg/kg p.s.							
Lieu	Date	Benzo (a) anthracène	Chrysène	Benzo (b) fluoranthène	Benzo (k) fluoranthène	Benzo (a) pyrène	Indéno (1,2,3-cd) pyrène	Dibenzo (a,h) anthracène	Benzo (g,h,i) péricène
Hao	mars-09	1,4	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	≤5,0	≤5,0
Tubuai	mars-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	≤5,0	≤5,0
Tahiti	avr-09	≤1,0	1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	≤5,0	≤5,0
Hao	sept-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	≤5,0	≤5,0
Maupiti	oct-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	7,4	≤5,0
Tubuai	oct-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	≤5,0	≤5,0
Hao	nov-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	≤5,0	≤5,0
Tahiti	dec-09	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	≤5,0	≤5,0
Hao	janv-10	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	6,3	≤5,0
Rangiroa	fev-10	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	7,0	≤5,0
Hao	mars-10	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	6,3	≤5,0
Maupiti	avr-10	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤5,0	6,3	≤5,0

Annexe 5 : Contaminants chimiques dans le sédiment du port de Papeete

Tableau A5-1 : Teneurs en métaux lourds dans le sédiment du port de Papeete

Métaux	Teneur en mg/kg p.s.
Cd	< 0,1
Cr	310
Cu	51
Fe	76 500
Hg	0,03
Pb	17
Zn	102

Tableau A5-2 : Teneurs en pesticides organochlorés dans le sédiment du port de Papeete

Pesticides	µg/kg p.s.	Pesticides	µg/kg p.s.	Pesticides	µg/kg p.s.
PCB 28	≤ 1,0	heptachlore epoxy exo	≤ 1,0	diflufenicanil	≤ 10
PCB 52	≤ 1,0	heptachlore epoxy endo	≤ 1,0	bromopropylate	≤ 10
PCB 101	≤ 1,0	endosulfan alpha	≤ 1,0	dicofol	≤ 10
PCB 118	≤ 1,0	endrine	≤ 1,0	bifénox	≤ 10
PCB 153	≤ 1,0	endosulfan beta	≤ 1,0	téfluthrine	≤ 10
PCB 105	≤ 1,0	endosulfan sulfate	≤ 5,0	bifenthrine	≤ 10
PCB 138	≤ 1,0	endosulfan total	≤ 7,0	fenproprathrine	≤ 10
PCB 180	≤ 1,0	trifluraline	≤ 10	lambda cyhalothrine	≤ 10
DDE pp	≤ 1,0	chlorothanonil	≤ 10	premethrine	≤ 10
DDD op	≤ 1,0	alachlore	≤ 10	cyperméthrine	≤ 10
DDD pp	≤ 1,0	métolachlore	≤ 10	fenvalérate	≤ 10
DDT op	1,50	flurochloridone	≤ 10	fluvalinate	≤ 10
DDT pp	≤ 1,0	métazachlore	≤ 10	deltaméthrine	≤ 10
alpha HCH	≤ 1,0	oxadiazon	≤ 10	alpha méthrine	≤ 10
beta HCH	≤ 1,0	nitrophène	≤ 10	esfenvalérate	≤ 10
HCH delta	≤ 10	méthoxychlore	≤ 10	pentachlorophénol	≤ 10
gamma HCH lindane	≤ 1,0	tétradifon	≤ 10	chlordan	≤ 10
captane	≤ 25	tecnazène	≤ 10	fipronil desulfinyl	≤ 10
folpet	≤ 25	propyzamide	≤ 10	fipronil sulfide	≤ 10
pentachlorobenzène	≤ 10	vinchlozoline	≤ 10	fipronil	≤ 10
hexachlorobenzène	≤ 1,0	dichofluanide	≤ 10	fipronil sulfone	≤ 10
heptachlore	≤ 1,0	tolyfluanide	≤ 10	1,3-hexachlorobutadiène	≤ 10
aldrine	≤ 1,0	procymidone	≤ 10	2,6-dichlorobenzamide	≤ 100
isodrine	≤ 1,0	bupirimate	≤ 10	dichlorobenil	≤ 100

Tableau A5-3 : Teneurs en HAP dans le sédiment du port de Papeete

Hydrocarbures	µg/kg p.s.	Hydrocarbures	µg/kg p.s.
naphtalène	1,58	benzo (a) anthracène	9,05
acénaphthylène	≤ 10	chrysène	10,7
acénaphthène	≤ 2,0	benzo (b) fluoranthène	11,4
fluorène	≤ 5,0	benzo (k) fluoranthène	5,03
phénanthrène	7,95	benzo (a) pyrène	9,35
anthracène	≤ 1,0	indéno (1,2,3-cd) pyrène	10,1
fluoranthène	16,7	dibenzo (a,h) anthracène	≤ 1,0
pyrène	12,6	benzo (g,h,i) périlène	8,93