

## Réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie française

Rapport final - Septembre 2014  
Contrat de projet Etat-Pays

PRP-ENV/SESURE/2014-35



Pôle radioprotection, environnement, déchets et crise

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

Demandeur	Contrat de projet - Convention n° 299 12 du 17/10/2012
N° action/processus de rattachement	Processus R3 : assurer les missions de surveillance radiologique des populations et de l'environnement

**Réseau de surveillance des polluants anthropiques dans  
les lagons de Polynésie française**  
Rapport final - Septembre 2014  
Contrat de projet Etat-Pays

S. Bernagout, V. Liao, P. Bouisset

Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement

Rapport Pôle radioprotection, environnement, déchets et crise

Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement  
PRP-ENV/SESURE/2014-35

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur	Chef du SESURE	Directeur de l'environnement	Directeur Général de l'IRSN *
Noms	S. BERNAGOUT	P. BOUISSET	G. MANIFICAT	J-C. GARIEL	J. REPUSSARD
Dates	18/07/2014	02/09/14	17/07/14	13/09/2014	
Signatures					

DIFFUSION : Libre  Interne  Limitée

\*si nécessaire

---

---

**LISTE DES PARTICIPANTS**

Nom	Organisme
S. BERNAGOUT P. BOUISSET G. LECLERC J. RUA M. NOHL	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
P. GAREN P. LEVY N. TETAURA D. POROI M. SHAM KOUA	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
V. LIAO P. BOSSERELLE S. PLANES B. ESPIAU	Centre de Recherche Insulaire et de la Biodiversité dans l'Environnement

**Contact :**

Pour toute information complémentaire, vous pouvez contacter :

Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement

IRSN/PRP-ENV/SESURE/LESE

BP 182

98725 Vairao - Tahiti - Polynésie française

[patrick.bouisset@mail.pf](mailto:patrick.bouisset@mail.pf)

---

---

## RESUME

La mise en place d'un réseau d'observation de la qualité des eaux lagunaires de Polynésie française, financé par le contrat de projet Etat - Pays, a été initiée mi 2012 pour une durée de deux ans. Durant un à trois semestres la contamination *in situ* a été suivie sur 6 sites : Vairao et la baie de Phaéton à Tahiti, Moorea (Vaiare), Huahine (Faie), Maupiti et Rangiroa. Le mollusque bioindicateur utilisé est l'huître perlière *Pinctada margaritifera*.

Après transplantation et 4 mois d'immersion sur site, la mesure dans les chairs de la radioactivité gamma n'a pas permis de détecter de radionucléides artificiels, cependant du césium 137 a été mesuré dans les sédiments sur 2 sites. Le plutonium (émetteur alpha) est présent en faibles quantités dans les chairs. L'analyse des métaux lourds a montré que le cadmium est toujours présent dans les chairs des bivalves avec des teneurs qui diminuent parfois, les teneurs en mercure et plomb sont très faibles dans tous les échantillons. Les huîtres perlières sont de bons biointégrateurs du fer et du zinc. L'analyse des composés organochlorés a mis en évidence la présence d'acétochlore sur 2 des suivis, d'autres composés (PCB, isodrine, ...) ont été détectés sur plusieurs sites. Les mesures de HAP (Hydrocarbures Aromatiques polycycliques) sont assez variables dans le temps, des composés différents ont été détectés sur les trois suivis, le phénanthrène a été détecté systématiquement.

Le suivi du milieu ne laisse apparaître aucun résultat problématique en termes de pollution. Les paramètres hydrologiques sont principalement influencés par les conditions météorologiques et la localisation du site par rapport à l'influence de la côte. Les analyses sédimentologiques ont permis de différencier les sites exposés à une sédimentation d'origine terrigène (Phaéton et Moorea) ou biogène (Vairao, Huahine, Maupiti et Rangiroa) où les peuplements de la faune et la flore marine sont plus importants.

Parallèlement, des expériences menées en laboratoire ont permis de mettre en évidence le phénomène d'accumulation des métaux lourds, cadmium et chrome, dans la chair des huîtres perlières. Ces teneurs augmentent rapidement au cours du temps lorsque le milieu est contaminé, notamment pour le cadmium. Les byssus intègrent également ce métal dans une moindre mesure. Ces expérimentations ont également permis d'identifier 3 gènes candidats biomarqueurs d'une contamination par les métaux lourds dans le cadre du projet Biolag.

Cette expérience permet d'établir un outil performant de quantification du plutonium pour les expertises que mène l'IRSN dans l'environnement et pour la mesure des autres polluants dans les lagons comme dans le cas du projet INTEGRE.

---

---

**MOTS-CLES : POLYNESIE FRANÇAISE, ENVIRONNEMENT, LAGON, BIOINTEGRATEUR, RADIOACTIVITE, METAUX LOURDS, COMPOSES ORGANOCLORES, HAP**

---

---

## PARAU POTO

Ua ha'a mau hia i te hoe pu hi'opo'ara'a o te maitai o te miti i roto i to tatou mau tairoto o Porinetia Farani nei i te matahiti 2012, tiaau hia i te pae faufa'a e te hau metua e te hau fenua na roto ia i te ho'e parau faau no te ho'e roara'a e piti matahiti. E toru hi'o po'a ra'a i roto i te taimoana (i roto na 18 ava'e) o tei rave hia i roto e 6 tairoto a to'a, Vairao e te oo'a o baie de Phaéton i Tahiti, Moorea (Vaiare), Huahine (Faie), Maupiti e o Rangiroa. Ua fa'a ohipa ia matou i te parau *Pinctada margaritifera mai te hoe tia'i oia*.

I muri mai i te ho'e tau e 4 ava'e i roto i te tairoto, ua hi'opo'a hia te mau i'o parau no te imi atu i te vi'ivi'i atomi gamma, aore oia e radionucléides i ite hiamai, tera ra ua faito hia mai te césium 137 i roto i te mau vari i roto ia e piti tairoto. Te plutonium (afa'ifa'i alpha) o tei ite to'a hia i roto i te i'o parau mai te faito iti ha'i ha'i roa. Te hi'opo'ara'a o te mau auri teiaha (métaux lourds) tei fa'a ite mai te vai noara te cadmium i roto i te i'o parau mai te ho'e faito o te iti noa ra to'a, na reira to'a o te faito o te mercure e te tapau (plomb) o te iti roa ia i roto i te mau hi'opo'ara'a ato'a. Ua riro ia te mau parau e tia'i fa'ahia hi'a roa no te tape'a mai te auri (fer) e te zinc. Te mau hi'opo'ara'a o te mau vi'i vi'i (mai te raa tupoh'e manumanu) (organochlorés) o te fa'aite mai ia te vai nei o te acétochlore i roto e piti na tairoto hi'opo'a hia, e te vai to'a ra te (PCB, isodrine, ...) i roto rave rau mau tairoto o te ite hia mai. Te faito o te (vi'i vi'i mori e hinu) HAP (Hydrocarbures Aromatiques polycycliques) o te tauui noa ia i roto i te tau, ua ite to'a hia mai na roto i te mau hi'opo'ara'a te tahi mau vi'i vi'i rau i roto e toru mau tairoto, ua ite to'a hia mai te phénanthrène i roto i te mau hi'opo'ara'a ato'a.

Na roto i te ie mau hi'opo'ara'a aore ia e vi'i vi'i puai i ite hia mai. Te mau numera o te tere ra'a opape o te miti tei tuea noa ia i te huru o te mito ra'a o te reva e te vai ra'a o te tairoto au ia i te huru o te pae tahatai. Ua fa'aite mai te mau hi'opo'ara'a o te mau vari te ta'a'e ra'a ia o te mau tairoto o tei fa'a ruru te mau vari no ni'a mai i te fenua (Phaéton et Moorea) aore ra te mau vari ta te i'a et te mau remu e horo'a mai (Vairao, Huahine, Maupiti et Rangiroa) te mau vahi i reira e ite hia ae rave rahi mau i'a e te mau remu.

Ua rave to'a matou te tahi mau hi'opo'ara'a i roto i te mau piha maimira'a o te pu, e ua ite to'a hia mai te tahi mau putu ra'a o te auri teiaha (métaux lourds), cadmium e te chrome, i roto i te i'o parau. E ta'uma ta'ue noa te ie mau numera i roto i te tau ia vi'i vi'i na'e o te pape no te cadmium i hoara. Te tape'a ri'i to'a nei te tu'ra o te parau teie mau auri. Ua fa'aite to'a mai te ie mau hi'opo'ara'a e 3 tene o tei ite hia mai (gènes candidats biomarqueurs) o te vi'i vi'i ia o te auri teiaha (métaux lourds) na roto ia i te opuara'a Biolag.

Ua riro ia te ie mau hi'opo'ara'a e rave'a no te ha'a mau i te ho'e moiha'a fa'ahia no te mito ra'a o te plutonium no te mau hi'opo'ara'a o tei rave hia i te pu IRSN i roto i te arutaimareva e no te faito to'a ia te mau vi'i vi'i huru rau i roto i te mau tairoto mai roto to'a te opuara'a INTEGRE.

---

---

**TA'P-TAVIRI : PORINETIA FARANI, ARUTAIMAREVA, TAIROTO, TIA'I (BIOINTEGRATEUR), VI'IVI'I ATOMI, AURI TEIAHA, MAI TE RAAU TUPOH'E MANUMANU, VI'I VI'I MORI E HINU (HAP)**

## SOMMAIRE

<b>1 INTRODUCTION</b> .....	<b>6</b>
<b>2 ETUDE <i>IN SITU</i></b> .....	<b>7</b>
2.1 SELECTION DES SITES .....	7
2.2 MATERIEL ET METHODE .....	9
2.2.1 MISE EN PLACE DU BIOINTEGRATEUR ET ANALYSE .....	9
2.2.2 SUIVI PHYSICO-CHEMIE ET BIOLOGIQUE DU MILIEU .....	13
2.3 MESURE DES CONTAMINANTS .....	15
2.3.1 ETAT PHYSIOLOGIQUE DES HUITRES PERLIERES .....	15
2.3.2 METAUX LOURDS .....	16
2.3.3 PESTICIDES ORGANOCHLORES .....	17
2.3.4 HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP) .....	20
2.3.5 RADIOACTIVITE .....	24
2.4 SUIVI PHYSICO CHEMIE ET BIOLOGIQUE .....	26
2.4.1 ANALYSES HYDROLOGIQUES .....	26
2.4.2 ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES .....	32
2.4.3 ANALYSES BIOLOGIQUES .....	33
2.5 DISCUSSION ET COMPARAISON DES SUIVIS ET DES SITES .....	37
2.5.1 DISCUSSION SUR LES ANALYSES DE CONTAMINANT .....	37
2.5.2 DISCUSSION SUR LE SUIVI DU MILIEU .....	42
<b>3 EXPERIENCES EN LABORATOIRE</b> .....	<b>45</b>
3.1 MATERIEL ET METHODE .....	45
3.1.1 PREMIERE EXPERIMENTATION .....	45
3.1.2 SECONDE EXPERIMENTATION .....	46
3.1.3 TROISIEME EXPERIMENTATION .....	47
3.2 RESULTATS DES EXPERIENCES EN LABORATOIRE .....	47
3.2.1 PREMIERE EXPERIMENTATION .....	47
3.2.2 SECONDE EXPERIMENTATION .....	48
3.2.3 TROISIEME EXPERIMENTATION .....	50
3.3 DISCUSSION ET COMPARAISONS DES EXPERIENCES EN LABORATOIRE .....	52
<b>4 CONCLUSION, PERSPECTIVES</b> .....	<b>54</b>
<b>5 REFERENCES</b> .....	<b>57</b>
<b>6 ANNEXES</b> .....	<b>58</b>

# 1 INTRODUCTION

L'objectif du projet est la mise en place d'un réseau d'observation de la qualité des eaux lagunaires de Polynésie française *via* un mollusque bioindicateur.

Lors d'une première étude en 2010 - 2011 [1], financée par le Ministère à l'Outre-Mer (MOM), deux espèces de bivalves ont été testées ainsi que deux sites à Tahiti, Vairao et le port de Papeete. L'espèce sentinelle qui a été validée pour un déploiement dans les sites retenus pour cette étude est l'huître perlière *Pinctada margaritifera*, mollusque bivalve sédentaire filtrant de grandes quantités d'eau et largement disponible en Polynésie.

Les premières expérimentations ont permis de valider les aspects techniques concernant la pose de stations de surveillance par la méthode des transplants et les durées d'immersion des mollusques ainsi que les contaminants chimiques (métaux lourds, pesticides organochlorés, HAP) et radiologiques systématiquement recherchés.

Dans le cadre du présent contrat de projet, d'autres sites d'étude sont mis en place :

- en 2012, une première série d'huîtres perlières immergées durant 4 mois a été placée sur les sites de Vairao et de la baie de Phaéton à Tahiti ainsi que dans la baie de Vaiare à Moorea.
- au premier semestre 2013, une seconde série d'huîtres perlières immergées a été mise en place sur les mêmes sites ainsi que sur l'île de Huahine.
- au second trimestre 2013, le site de Moorea n'a pas été utilisé et 2 nouveaux sites ont été étudiés sur les îles de Maupiti et Rangiroa.

Les contaminants chimiques et radiologiques ont été mesurés dans les chairs des mollusques après 2 et 4 mois d'immersion et les paramètres physico-chimiques et biologiques ont été relevés [2, 3, 4]. Des sédiments ont également été collectés en fin d'expérimentation.

Parallèlement, des expériences ont été menées en laboratoire afin d'approcher les cinétiques de concentration de métaux lourds dans les huîtres perlières [5, 6, 7]. Les huîtres perlières ont été mises dans des bacs contenant différents niveaux de concentration de métaux durant plusieurs semaines. Des prélèvements réguliers ont été réalisés pour mesurer par absorption atomique la concentration de ces métaux dans les chairs et les byssus des mollusques.

De plus, les expérimentations en laboratoire servent de support à un programme de l'Ifremer intégré dans le LabEx CORAIL concernant l'expression des gènes impliqués dans la détoxification au cours du temps pendant et après une période de contamination [8]. L'idée est d'identifier un ou plusieurs gènes dont l'expression est modulée en présence de certains contaminants afin de définir des biomarqueurs de la qualité de l'eau en évaluant l'impact d'une contamination sur les capacités biominéralisatrices de l'huître perlière.

## 2 ETUDE IN SITU

### 2.1 SELECTION DES SITES



Figure 1 : Position des sites pour les expériences in situ 2012-2013

Au total, 5 sites (tableau 1) ont été sélectionnés sur toute la durée du projet qui s'est déroulé en 3 phases :

- En 2012, les 3 sites retenus sont Vairao (site de référence), la baie de Port Phaéton à Tahiti et la baie de Vaiare à Moorea.
- Début 2013, un site supplémentaire est retenu à Huahine en baie de Faie, proche de la sortie du lac Maeva.
- Au second semestre 2013, les 2 nouvelles îles étudiées sont Maupiti et Rangiroa.

Tableau 1 : Localisation et profondeur des 5 sites des expériences in situ

Ile	Nom du site	Latitude S	Longitude O	Profondeur (m)
Tahiti	Concession Ifremer - Vairao	17°48'23,6"	149°17'40,5"	30
Tahiti	Baie de Port Phaéton – Taravao	17°44'26,2"	149°20'01,6"	18
Moorea	Baie de Vaiare	17°31'20,2"	149°46'41,5"	15
Huahine	Baie de Faie	16°43'24,4"	150°58'57,4"	16
Maupiti	Face au Marae Vaiahu	16°27'22,2"	152°15'29,5"	15
Rangiroa	Concession CMNP	14°57'10,2"	147°41'09,0"	18

Les localisations avec images aériennes des sites (Google Earth) sont données en annexe 1.

Le site de la concession perlicole d'Ifremer dans le lagon de Vairao sur la presqu'île de Tahiti a été choisi comme station de référence pour l'ensemble de l'étude *in situ*. Sur ce site sont implantées les filières d'élevage des huîtres perlières nécessaires aux programmes de recherche d'Ifremer. Il est caractérisé par une implantation 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.



Un site a été retenu en baie de **Phaéton**, dans la commune de Taravao, pour sa proximité au Centre d'Enfouissement Technique de Paihoro. Les eaux de la baie sont très peu renouvelées et la région est agricole.

A **Moorea**, la baie de Vaiare est un site facilement accessible à partir de Tahiti et anthropisé avec le passage régulier de ferrys et le port de plaisance à proximité.

Le lieu de mouillage retenu sur l'île de **Huahine** est en sortie de la baie de Faie, à l'ouest de la passe Tiare, à proximité d'activités agricoles. Toutes les eaux du lac Maeva, circulant dans un chenal d'abord naturel puis creusé jusqu'à la pointe Pati, arrivent sur cette zone.

A **Maupiti**, le site a été choisi au seul endroit où la profondeur est suffisante, 15 m environ, sur des filières existantes d'une ancienne ferme perlière, en face du marae Vaiahu et à proximité de la décharge municipale. L'île ne possédant qu'une seule passe étroite, les eaux sont peu renouvelées.

Ce sont les filières de la Direction des Ressources Marines et Minières, au Centre des Métiers de la Nacre et de la Perle (CMNP) qui servent de support sur l'atoll de **Rangiroa**. Les activités humaines sont liées principalement aux activités touristiques et à la production de perles.

Dans ce rapport, les sites de Tahiti - Vairao, Tahiti - baie de Phaéton, Moorea - Vaiare, Huahine, Maupiti et Rangiroa sont nommés respectivement VAI, BP, MOO, HUA, MAU et RAN.

## 2.2 MATERIEL ET METHODE

### 2.2.1 MISE EN PLACE DU BIOINTEGRATEUR ET ANALYSE

#### Approvisionnement

L'espèce sentinelle (figure 2), retenue lors d'une première étude en 2010 [1], est l'huître perlière à lèvres noires *Pinctada margaritifera* (appelée « nacre »). C'est un mollusque bivalve sédentaire filtrant de grandes quantités d'eau et largement disponible en Polynésie française.



Figure 2 : Coquilles et chairs de l'huître perlière *P. margaritifera*

Lors des expérimentations, tous les individus proviennent d'une même ferme perlière de l'atoll de Takaroa (archipel des Tuamotu). Pour chacune des 3 périodes de l'étude, les huîtres perlières font partie de la même cohorte en élevage (même âge, même filière). Elles sont expédiées par avion en glacière pour être traitées selon les recommandations de la DRMM (Direction des Ressources Marines et Minières) avec une opération de sursalage à l'arrivée. Elles sont ensuite triées et disposées dans des paniers sur la station de Vairao durant quelques jours en attente de transfert sur les différentes stations expérimentales.

#### Echantillonnage

Pour le **premier suivi expérimental**, un lot d'environ 700 huîtres perlières a été expédié de Takaroa fin juin 2012. L'expérimentation a débuté le 2 juillet 2012 (T0) avec la transplantation des huîtres sur les sites de Vairao et de la baie de Phaéton à Tahiti ainsi que sur le site de Moorea le lendemain. Une mortalité de 34 % a été constatée à la pose. Les coquilles ont une taille moyenne de  $9,7 \pm 0,9$  cm et l'indice de condition (IC = poids sec chair/poids sec coquille) à T0 est de 0,33.

Les premiers échantillonnages (lots de 50 individus) ont eu lieu en septembre 2012 après 2 mois d'immersion (T2). Les dernières huîtres perlières ont été retirées (ainsi que le matériel de mouillage) en novembre (T4) pour l'analyse des contaminants dans les chairs. Un prélèvement de sédiment a également été réalisé lors de ce dernier retrait.

En plus du prélèvement T2 à Huahine, une vingtaine d'huîtres perlières de la ferme OWEN ont été prélevées pour comparaison. Ce sont des huîtres *P. margaritifera* surgreffées, dont la taille des coquilles est comprise entre 12 et 18 cm, présentes sur site depuis 3 ans.

Pour le **second suivi expérimental**, environ 1 700 huîtres perlières ont été expédiées de Takaroa fin février 2013 afin d'avoir des quantités de chairs suffisantes pour mesurer le plutonium (Pu) sur les sites de Tahiti - Phaéton, Moorea - Vaiare et Huahine - Faie. Suite au transport, environ 10 % des huîtres étaient mortes avant transplantation sur site.

Lors du prélèvement intermédiaire à Huahine en mai 2013, il a malheureusement fallu constater la disparition de la moitié des paniers contenant les bivalves suite à la rupture de la barre en bois servant de support pour les paniers. La mesure du Pu a donc été reportée sur ce site. Tous les paniers ont été retirés en juillet 2013 après 4 mois d'immersion.

Pour le **dernier suivi expérimental**, environ 1 400 huîtres perlières ont été expédiées de Takaroa mi-octobre 2013. Cependant, une mortalité de 41 % a été constatée à la pose ce qui a conduit à annuler les prélèvements intermédiaires à T2 et à ne laisser qu'un panier sur les sites de Vairao, Phaéton et Huahine (sites déjà étudiés au 1<sup>er</sup> semestre 2013).

La mission de récupération à Huahine en février 2014 (T4) a été annulée suite à la disparition du mouillage et des paniers d'huîtres perlières ainsi que tout le matériel disposé sur site pour les mesures du suivi physico-chimique du milieu.

Seuls les lots immergés à Maupiti et Rangiroa sont suffisants en quantité pour une mesure du Pu.

Pour les 3 périodes expérimentales, les dates et les sites de prélèvements sont indiqués dans le tableau 2.

Tableau 2 : Dates et sites de prélèvement sur les 3 périodes de l'expérimentation in situ

Dates	Prélèvements	
	Noms	Sites
02/07/12	2012 T0	
04 et 05/09/12	2012 T2	VAI, BP, MOO
06 et 07/11/12	2012 T4	VAI, BP, MOO
11/03/13	2013-1 T0	
13 au 15/05/13	2013-1 T2	VAI, BP, MOO, HUA
15 au 17/07/13	2013-1 T4	VAI, BP, MOO, HUA
11/10/13	2013-2 T0	
11 et 17/012/13	2013-2 T2	MAU, RAN
13, 17 et 25/02/14	2013-2 T4	VAI, BP, MAU, RAN

### Stations expérimentales

Les installations des mouillages à **Vaiare-Moorea** et à **Phaéton-Tahiti** se sont déroulées en juin 2012 avec l'aide de plongeurs. Une autorisation d'occupation temporaire du territoire maritime a été accordée par la DAF (Direction des affaires Foncières) de Polynésie française pour ces sites (n° 2656/MAA/DAF/DOM).

Les mouillages sont constitués d'un corps mort posé sur le fond, lié à un bout auquel est attachée une bouée avec une barre métallique immergée à 5 mètres de profondeur supportant plusieurs paniers d'huîtres perlières (figure 3).

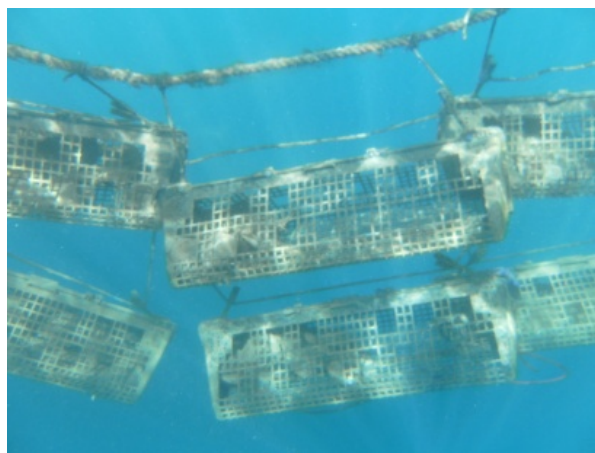
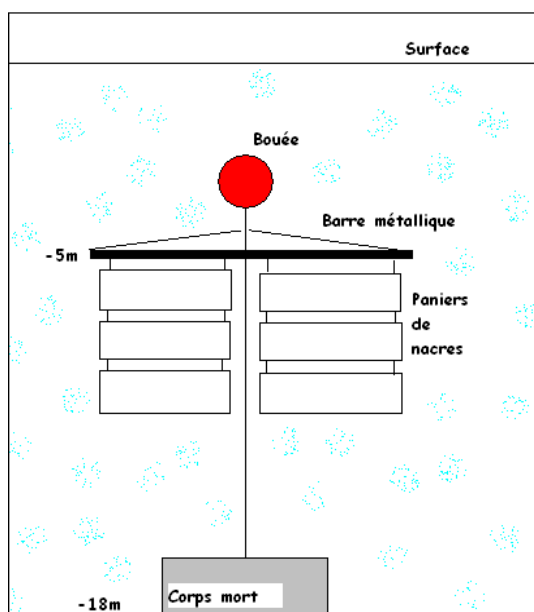


Figure 3 : Structure des mouillages et photographie des paniers d'huîtres perlières

A Huahine, l'installation de la structure du mouillage a eu lieu en janvier 2013 avant le second suivi expérimental. Malheureusement, il a fallu constater lors de la pose des paniers en mars 2013 la disparition totale, probablement due à un vol, du matériel. Le corps mort a dû être remplacé par du corail fixé sur site et la barre métallique par une barre en bois (*aito*) trouvée sur place.

Sur l'île de Maupiti, le site retenu est celui d'une ancienne ferme perlière. Les paniers contenant les huîtres ont été placés sur des bouts existants à la profondeur souhaitée.

Avec la collaboration de la DRMM (convention n° 4525/MRM/DRMM), sur l'atoll de Rangiroa, ce sont les filières du CMNP (Centre des Métiers de la Nacre et de la Perle) qui ont servi de support aux paniers d'huîtres perlières.

Des emplacements du domaine maritime ont été affectés à l'IRSN par la DAF pour les sites de Huahine et Maupiti (arrêté n° 0914/CM du 09/07/13).

#### Traitement des échantillons

- Sur site, les coquilles sont grattées et rincées en eau de mer,
- Les échantillons sont transportés en glacière à sec vers les laboratoires IFREMER-IRSN à Vairao,
- A leur arrivée, les huîtres perlières sont placées entières dans des bacs au réfrigérateur,
- Dans les 24 h qui suivent les prélèvements, les coquilles sont ouvertes à l'aide de couteaux en inox. Les byssus sont éliminés et les chairs sont mises à égoutter sur entonnoir de Buchner 30 minutes au minimum puis pesées,
- Les chairs sont disposées en boîtes de Pétri en verre et mises en congélation pour être lyophilisées (figure 4a) puis broyées,

- pour les échantillons standard, une partie (environ 20 g) de l'échantillon sec, mise en pilulier fermé par une feuille d'aluminium et par un bouchon (figure 4b), est destinée aux analyses chimiques,
- l'autre partie (figure 4c) est mise en conteneur spécifique pour une mesure de radioactivité par spectrométrie gamma GeHP ou en sachet pour une mesure du Pu par spectrométrie alpha après extraction radiochimique.

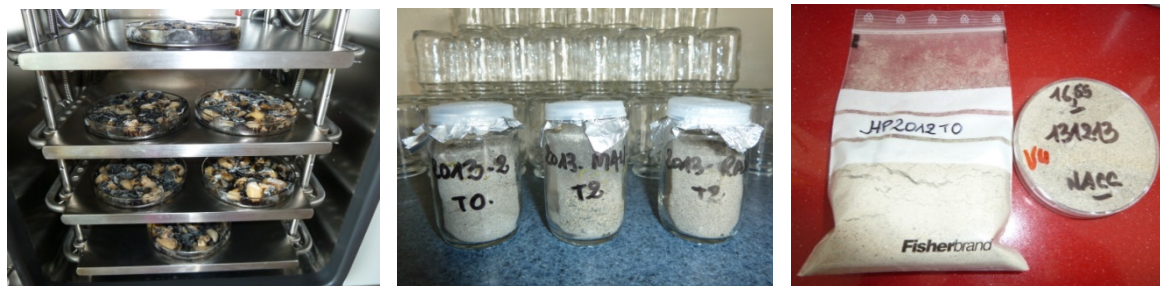


Figure 4 : Chairs d'huîtres perlières mises au lyophilisateur pour séchage (a), en pilulier pour mesures chimiques (b) et en géométrie de mesure gamma ou en sachet pour la mesure  $\alpha$  du Pu (c)

L'ensemble de ces manipulations de traitement des échantillons en laboratoire dédié est réalisé avec des gants en nitrile. Le matériel de laboratoire utilisé pour les échantillons destinés à la mesure des contaminants chimiques est nettoyé avec un détergent spécial sans phosphate, puis rincé à l'eau déminéralisée. La verrerie et les feuilles d'aluminium sont calcinées avant utilisation et manipulées avec des gants en coton.

#### Paramètres analysés

- **La mortalité** est comptabilisée en pourcentage à chaque série de prélèvement.
- **L'indice de condition** global (poids sec de chair / poids sec de coquilles) a été calculé sur la totalité des échantillons. Les masses de chairs fraîches après égouttage et de chairs sèches après lyophilisation ont été mesurées, de même que les coquilles correspondant aux chairs après séchage à l'étuve. Les valeurs de pesée sont indiquées en g p.s. (gramme de poids sec) et en g p.f. (gramme de poids frais).
- **Les contaminants chimiques :**
  - 7 métaux lourds (cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), fer (Fe), mercure (Hg), plomb (Pb) et zinc (Zn) ;
  - pesticides organochlorés (dont PCB, lindane et DDT) ;
  - 16 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).

Ces analyses (liste et incertitude en annexe 2) ont été réalisées par le Laboratoire de Rouen (accréditation Cofrac 1-1351, <http://www.laborouen.com/>).

- **Les contaminants radiologiques :** radionucléides gamma d'origine artificielle ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) et d'origine naturelle ( $^{40}\text{K}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  et  $^{208}\text{Tl}$ ) ainsi que les isotopes du Pu ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ) par spectrométrie alpha. Les mesures ont été réalisées à Vairao par l'IRSN/LESE qui dispose d'équipements analytiques adaptés à la mesure de traces d'éléments radioactifs:
  - spectrométrie gamma haute résolution bas bruit de fond en mesures directes ;

- spectrométrie alpha (PIPS) pour les isotopes du plutonium ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ) après radiochimie sélective.

### 2.2.2 SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DU MILEU

Les méthodes utilisées pour la réalisation du suivi physico-chimique du milieu s'intègrent aux protocoles standardisés des suivis réalisés dans divers projets sur les lagons de Tahiti et de Moorea. Parmi les deux grandes composantes (physico-chimique et biologique) choisies pour ce suivi, trois catégories de descripteurs ont été évaluées :

- **colonne d'eau** : température, salinité, nutriments, matières en suspensions, charges bactériologiques et chlorophylles ;
- **sédiments** : granulométrie et taux de sédimentation ;
- **peuplements** : richesses génériques des organismes composant le substrat ainsi qu'un inventaire de la faune mobile.

#### Analyses hydrologiques

La **température** influence les processus biologiques et la distribution des organismes. Ce descripteur a été enregistré en continu (1 mesure par heure) à l'aide d'une sonde de type Sea Bird 56 (SB56) sur les différents sites. La salinité influence certains processus physiques de l'eau de mer. Elle a été mesurée avec une sonde de mesure de type « YSI 600 Q » du Criobe. Les mesures ont été prises en laboratoire à partir d'échantillons d'eau prélevés lors des 3 interventions (T0, T2 et T4) réalisées sur chacun des sites.

Les matières en suspensions (**MES**) sont les éléments vivants ou détritiques de formes variables ayant une composition minérale ou organique provenant d'apports biogéniques, terrigènes, éoliens ou météoriques. Sur chaque site, lors de chaque prélèvement (T0, T2 et T4), 3 prélèvements d'eau ont été effectués pour mesurer ce paramètre. Un litre d'eau passe à travers un filtre (préalablement séché à l'étuve) en fibre de verre Whatman (GF/F ; Ø 47 mm) ayant une porosité de 0,7 µm. Puis le filtre est rincé à l'eau distillé et séché à l'étuve à 60°C jusqu'à ce que son poids soit constant.

La mesure de la **charge bactériologique** permet de juger de la qualité sanitaire des eaux. Pour un classement ponctuel des eaux de baignade, il existe 3 classes de qualité (bonne, moyenne et mauvaise). Lors des trois interventions (T0, T2 et T4), trois prélèvements d'eau ont été effectués pour mesurer les charges bactériologiques. Pour chaque prélèvement, un volume de 250 ml passe au travers d'une membrane filtrante de porosité 0,45 µm. Le filtrat est mis en culture puis en incubation (37°C) pour réaliser un dénombrement. L'analyse est sous-traitée au CAIRAP à Tahiti.

La **chlorophylle a** est un paramètre très utilisé en océanographie permettant d'évaluer la biomasse phytoplanctonique. A chaque intervention, trois prélèvements d'eau ont été effectués pour cette détermination. 100 ml d'eau filtrée sont analysés par fluorimétrie : une lecture de l'absorbance (filtre d'excitation 10-050R : 340-500 nm ; filtre émission 10-051R : > 665 nm) est réalisée après extraction au méthanol et calibrée sur des valeurs guides.

Le terme « nutriment » englobe l'ensemble des éléments nutritifs (**nitrite, nitrate, ammonium, phosphate et silicate**) dont la production primaire est dépendante. A chaque intervention, trois prélèvements d'eau ont été effectués pour cette détermination à l'aide d'un autoanalyseur de type AA3 HR (Seal analytical, communément appelé « Technicon »). Cet équipement permet l'analyse automatisée de plusieurs dizaines d'échantillons presque simultanément, le principe consistant à mesurer la concentration des différents nutriments par dosages colorimétrique et fluorimétrique.

#### Analyses sédimentologiques

La **granulométrie** des sédiments résulte du transport et de la sédimentation de particules sur un site donné, ce paramètre étant souvent lié à la pollution. Au cours de la dernière intervention sur les différents sites (T4), trois prélèvements de sédiments sont réalisés. Ces sédiments, séchés à l'étuve à 60°C, sont tamisés durant deux fois vingt minutes à travers cinq tamis de mailles différentes (500, 250, 125, 63 et 20 µm). Les différentes fractions sont ensuite pesées.

La **sédimentation** est un paramètre très important dans les zones côtières ayant d'importants apports continentaux. Un dispositif de piégeage des sédiments est mis en place lors de la première intervention (T0) pour être récupéré après 4 mois d'immersion des huîtres perlières (T4). Les sédiments collectés dans un piège cylindrique (5,6 cm x 40 cm) sont stockés dans des flacons d'un litre pendant plusieurs jours permettant la décantation. Le contenu est ensuite filtré sur un filtre papier GFC préalablement pesé. Les filtres sont séchés à l'étuve puis pesés pour l'obtention du taux de sédimentation par unité de surface et de temps.

#### Analyses biologiques

La présence ou l'absence d'organismes vivants sur un site permet de juger de son état de santé. Les espèces de la faune et la flore présentes sur le substrat, directement sous les huîtres perlières, ont été inventoriées par des observations générales *in situ* en plongée sous-marine et des mesures de recouvrement ont été effectuées.

L'occurrence d'organismes mobiles dans la colonne d'eau ou sur le substrat d'un site précis renseigne sur les conditions de vie de ce dernier. La faune mobile a été inventoriée d'une part par des observations *in situ* en plongée sous-marine et d'autre par un dispositif vidéo (GoPro) associé à un appât. Le dispositif vidéo a été mis en place pendant une durée d'environ 40 minutes lors des interventions sur chaque site.

## 2.3 MESURE DES CONTAMINANTS

### 2.3.1 ETAT PHYSIOLOGIQUE DES HUITRES PERLIERES

Le nombre d'individus prélevés par échantillonnage et les résultats de mortalité et d'indices de condition sont donnés en annexe 3.

Lors du **premier suivi expérimental en 2012**, la mortalité constatée après 2 mois d'immersion est d'environ 30 % en moyenne sur les 3 sites étudiés. Elle est inférieure à 5 % lors du dernier prélèvement 2 mois après. Ces derniers résultats indiquent que la mortalité observée après les 2 premiers mois d'immersion est consécutive au transport comme déjà constaté à Tahiti lors de l'arrivée des huîtres perlières en provenance de Takaroa.

La mortalité importante en début d'expérimentation a entraîné un nombre réduit d'individus prélevés. Moins de 50 huîtres constituent les lots pour les prélèvements sur les 3 sites à T2 ainsi qu'à Vairao à T4. Les mesures de Pu prévues pour les huîtres de Phaéton et de Moorea à T4 ont dû être reportées suite à un manque de matière pour ces analyses.

L'indice de condition (IC) est globalement stable sur la période de transplantation à Vairao. Il augmente au cours des 4 mois pour les huîtres immergées à Phaéton indiquant un bon état physiologique. Il diminue à Moorea où les huîtres ont été longtemps au contact des sédiments du fond, la flottabilité de la ligne étant mal ajustée. L'IC confirme, comme le taux de mortalité faible observé les 2 derniers mois d'immersion, une bonne acclimatation des mollusques dans les milieux.

Lors du **second suivi expérimental au premier semestre 2013**, les mortalités les plus importantes constatées après 2 et 4 mois d'immersion sont de plus de 20 % à Phaéton. Elles ne dépassent pas 6 % lors du prélèvement à T4 sur les autres stations.

Une cinquantaine d'huîtres constitue les lots de prélèvement. Les huîtres restantes ont permis à T4 un prélèvement d'un plus grand nombre d'individus pour une mesure en Pu sur les sites de Vairao, de Phaéton et de Moorea. Suite à la disparition d'une partie du lot à Huahine, la mesure du Pu n'a pu être réalisée.

Comme en 2012, l'IC est globalement stable pour le site de Vairao. A Moorea, l'IC est stable sur 4 mois alors qu'il augmente à Phaéton, indiquant une croissance et une bonne adaptation au milieu. L'IC diminue au cours du temps à Huahine.

Lors du **troisième suivi expérimental au second semestre 2013**, la mortalité constatée à T0 est de 41 % suite au transport. Cette forte mortalité a conduit à ne conserver qu'un prélèvement final à T4 sur les sites de Vairao, Phaéton et Huahine (sites déjà étudiés). Aucun résultat à Huahine suite au vol du mouillage et des paniers.

La mortalité élevée aux 2 sites de Tahiti à T4, de l'ordre de 70 %, a réduit l'échantillonnage à une vingtaine d'individus seulement. L'IC moyen des huîtres perlières diminue légèrement à Vairao indiquant une condition moyenne des mollusques immergés. L'IC reste stable sur la période étudiée en baie de Phaéton.



La mortalité est de 30 % à T4 à Maupiti et de 7 % à Rangiroa où les huîtres semblent bien s'acclimater au milieu. Pour ces 2 sites, l'IC augmente nettement pour les prélèvements à T2 montrant une croissance des individus puis diminue autour de sa valeur initiale en fin d'expérimentation à T4.

### 2.3.2 METAUX LOURDS

#### Chair des huîtres perlières

Les résultats des analyses de la teneur en métaux lourds dans les chairs pour les 3 périodes étudiées sont donnés en annexe 4.

**En 2012**, les teneurs en métaux lourds dans les chairs sur les 3 sites sont globalement du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2010 après immersion au port de Papeete [1] avec cependant des teneurs en Zn plus faibles. On peut également remarquer que la concentration la plus importante en Cu, 17 mg/kg p.s., a été mesurée dans l'échantillon « source » (T0), les teneurs diminuant sur tous les sites après 2 mois d'immersion. Les teneurs en Cd ont tendance à diminuer au cours du temps pour les huîtres à Phaéton alors que celles en Fe ont tendance à augmenter. A Moorea, on note l'augmentation des teneurs en Fe, Pb et Zn après 4 mois d'immersion.

**Au premier semestre 2013**, les teneurs en métaux lourds dans les chairs à T0 sont du même ordre de grandeur que pour la série précédente en 2012 (sauf pour le Cu où elle est moins élevée). Toutes les valeurs en Cr sont significatives mais restent faibles (< 2,6 mg/kg p.s.). De même qu'en 2012, la teneur en Cd a tendance à diminuer au cours du temps pour les huîtres de Phaéton. Les teneurs en Fe augmentent globalement moins que pour la 1<sup>ère</sup> série d'immersion et les teneurs en Zn augmentent au cours du temps à Moorea, à Huahine et à Vairao. A Huahine, le prélèvement à T2 d'huîtres issues de la ferme perlière Owen montre que les valeurs sont du même ordre de grandeur que celles transplantées pour ces expérimentations. Les teneurs sont un peu plus faibles en Cd et un peu plus fortes en Cr dans les chairs des mollusques provenant de la ferme perlicole.

**Au second semestre 2013**, les teneurs en métaux lourds dans les chairs sont du même ordre de grandeur à T0 que pour les séries précédentes sauf pour le Cd où elle est plus élevée (7,50 mg/kg p.s.). Une diminution des concentrations en Cd est observée après 4 mois d'immersion sur les sites de Maupiti et de Rangiroa et plus particulièrement à Phaéton. Les teneurs en Cr augmentent à Phaéton et celles en Hg augmentent jusqu'à 0,07 mg/kg p.s. après 2 mois d'immersion à Rangiroa.

Les teneurs en Fe augmentent largement à Vairao et à Phaéton alors qu'elles diminuent fortement à Rangiroa. Après 4 mois d'immersion les teneurs en Fe sont 10 fois plus fortes à Phaéton (619 mg/kg p.s.) qu'à Rangiroa (65,6 mg/kg p.s.).

Les teneurs en Zn suivent le même profil que le Fe avec une augmentation à Vairao et à Phaéton et une diminution à Rangiroa.

## Sédiments

Un prélèvement a été effectué en novembre 2012, en fin d'expérimentation, après 4 mois d'immersion des huîtres. Les résultats sont donnés dans le tableau 3.

- Le sédiment prélevé sous la filière de Vairao est le plus pauvre en métaux lourds.
- Le sédiment de Phaéton est le plus riche en fer, avec une teneur supérieure à 8 %, et le plus riche en Cr et Cu.
- La teneur la plus élevée en Zn a été détectée dans le sédiment de Vaiare à Moorea. C'est aussi le site où a été décelée la seule valeur significative en Pb.

Les prélèvements de sédiments du second semestre 2013 montrent que les résultats d'analyse des métaux lourds sont similaires à ceux de l'année précédente sur les sites de Vairao et de Phaéton :

- Cd et le Pb n'ont jamais été détectés ;
- seuls Cr, Fe et Zn sont mesurés à Maupiti avec des teneurs inférieures à celles de Vairao ;
- à Rangiroa, le Cr a été mesuré à faible teneur, les autres métaux n'ont pas été détectés.

Tableau 3 : Teneurs en métaux lourds ( $\text{mg.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) dans les sédiments des 3 sites en 2012

	Métaux lourds ( $\text{mg/kg sec}$ )						
	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fer	Mercure	Plomb	Zinc
VAI	<1,0	42	4	10400	<0,02	<1,0	13
BP	<1,0	191	43	81000	0,04	<1,0	95
MOO	<1,0	152	22	59000	0,03	4	127

Tableau 4 : Teneurs en métaux lourds ( $\text{mg.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) dans les sédiments des 4 sites en 2013-2<sup>nd</sup> semestre

	Métaux lourds ( $\text{mg/kg sec}$ )						
	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fer	Mercure	Plomb	Zinc
VAI	<1,0	39	4	10600	<0,02	<1,0	15
BP	<1,0	195	40	75700	0,03	<1,0	99
MAU	<1,0	27	<3	3480	<0,02	<1,0	5
RAN	<1,0	3	<3	<20	<0,02	<1,0	<5

### 2.3.3 PESTICIDES ORGANOCHLORES

#### Chair des huîtres perlières

Les résultats des analyses des teneurs en composés organochlorés dans les chairs pour les 3 périodes étudiées sont donnés en annexe 5.

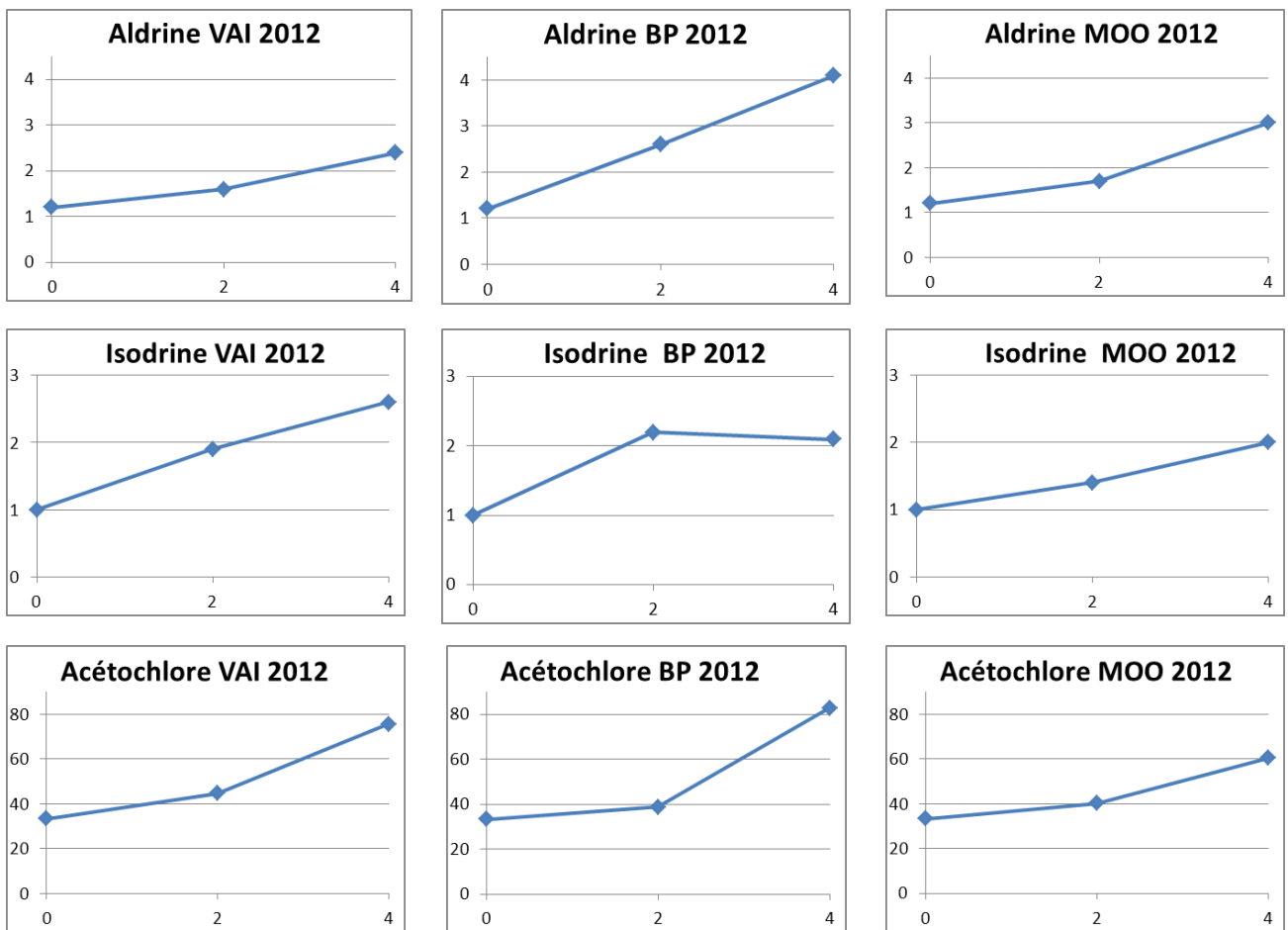


Figure 5 : Teneurs de 3 composés organochlorés (isodrine LD = 1) en  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  p.s. détectés systématiquement dans les chairs des huîtres perlières après 2 et 4 mois d'immersion sur les 3 sites étudiés en 2012

En 2012, sur les pesticides organochlorés (et apparentés) mesurés dans les chairs sur les 3 sites étudiés après 2 et 4 mois d'immersion, 12 composés organochlorés ont été détectés. Trois d'entre eux ont été mesurés systématiquement sur tous les échantillons : l'aldrine, l'isodrine et l'acétochlore, avec pour ce dernier, des teneurs allant de 33,4 à 82,9  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  sec (figure 5).

L'alachlore a été détecté à T4 à Phaéton et à Moorea, la propyzamide sur les 3 sites à T4 et la procymidone à Vairao et à Phaéton à T4.

Au premier semestre 2013, 8 composés organochlorés ont été détectés dans quelques échantillons seulement et à de très faibles concentrations (maximum 2,6  $\mu\text{g/kg}$  p.s. d'heptachlore à T4 à Vairao). Les résultats sont très différents des teneurs relevées lors des premières expérimentations de 2012.

Au second semestre 2013, 15 composés organochlorés ont été détectés avec des teneurs faibles pour la plupart. L'isodrine a été mesurée à des teneurs de l'ordre de 7  $\mu\text{g/kg}$  p.s. dans les huîtres de Vairao, de Maupiti et de Rangiroa. La plus forte valeur de PCB est mesurée à Vairao où le PCB 101 atteint 6,8  $\mu\text{g/kg}$  p.s.. Comme en 2012, l'acétochlore (figure 6) a été décelé dans tous les échantillons avec des teneurs moins élevées cependant (max 28,3  $\mu\text{g/kg}$  p.s.), mais qui augmentent après 4 mois d'immersion sur les différents sites. L'alachlore a été mesuré 2 fois à T4 à Maupiti et à Rangiroa.

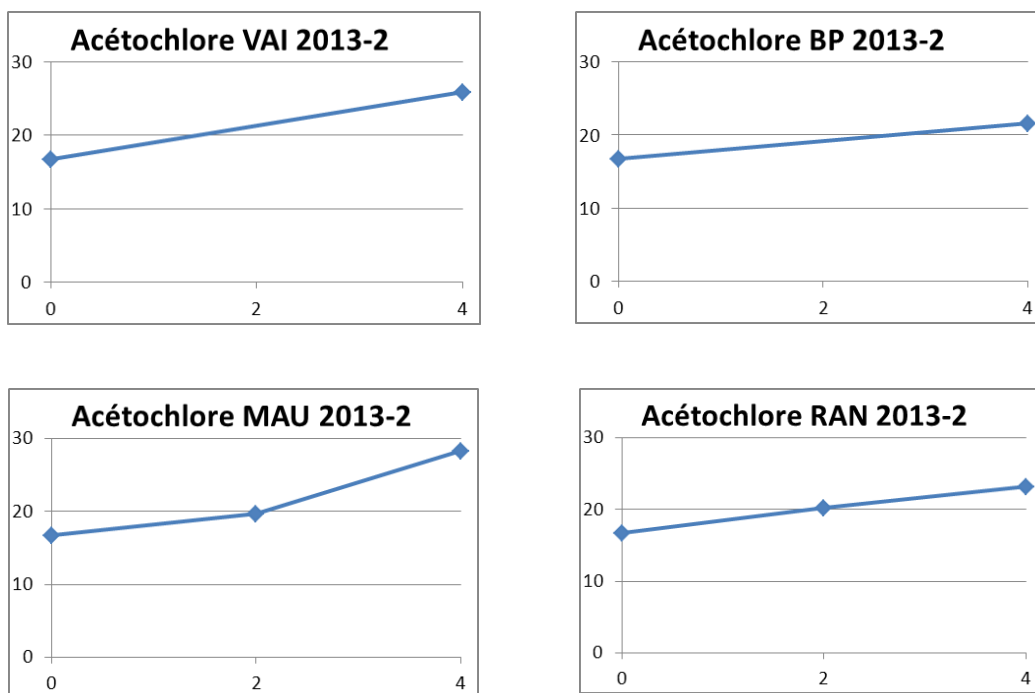


Figure 6 : Teneurs en acétochlore en  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  p.s. dans les chairs des huîtres perlières après 2 et 4 mois d'immersion sur les 4 sites étudiés au second semestre en 2013

## Sédiments

En 2012, seuls 2 composés (tableaux 5) ont été détectés à de faibles teneurs dans les 3 sédiments analysés sur chacun des sites en fin d'expérimentation : le PCB 101 et l'endrine.

Tableau 5 : Teneurs en pesticides organochlorés ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ ) dans les sédiments des 3 sites en 2012

	Organochlorés et apparentés ( $\mu\text{g}/\text{kg sec}$ )	
	PCB 101	Endrine
VAI	1,22	<1,0
BP	0,20	1,8
MOO	0,22	1,1

Au second semestre 2013, 4 PCB ont été détectés dans le sédiment prélevés sous la filière de Vairao, 5 composés ont été détectés à Phaéton, 1 à Maupiti, un autre à Rangiroa.

Tableau 6 : Teneurs en pesticides organochlorés ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ ) dans les sédiments des 4 sites en 2013-2<sup>nd</sup> semestre

	Organochlorés et apparentés ( $\mu\text{g}/\text{kg sec}$ )							
	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 118	PBC 153	PCB 138	alpha HCH	DDE pp'
VAI	0,35	0,31	0,34	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
BP	<0,1	0,47	0,34	<0,1	0,19	<0,1	0,19	0,11
MAU	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,16	<0,1	<0,1
RAN	<0,1	0,32	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

### 2.3.4 HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)

#### Chair des huîtres perlières

Les résultats des analyses des teneurs en HAP dans les chairs d'huîtres perlières pour les 3 périodes étudiées sont donnés en annexe 6.

En 2012, sur les 16 HAP mesurés, la moitié des composés a été détectée ; le naphthalène, le phénanthrène, le fluoranthène et le pyrène l'ont été systématiquement à chaque prélèvement pour les 3 sites étudiés (figure 7).

A Moorea, on peut noter une augmentation des teneurs de ces 4 composés HAP après 2 mois d'immersion et une diminution ensuite à T4.

Cependant, la mesure du phénanthrène montre une baisse des teneurs à Vairao et à Phaéton après 2 mois. Ces teneurs continuent à diminuer à Phaéton à T4.

Alors que le dibenzo (a,h) anthracène (figure 8) n'est pas décelé dans l'échantillon témoin ( $\text{LD} < 5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.s.}$ ), il l'est après transplantation des huîtres sur les 3 sites avec des teneurs supérieures à  $15 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ p.s.}$  à T4. La teneur en benzo (g,h,i) périlène présent dans la chair des témoins augmente à T2 (double quasiment) à Moorea pour atteindre une limite de détection à T4 alors que cet hydrocarbure n'est pas détecté à Vairao et à Phaéton.

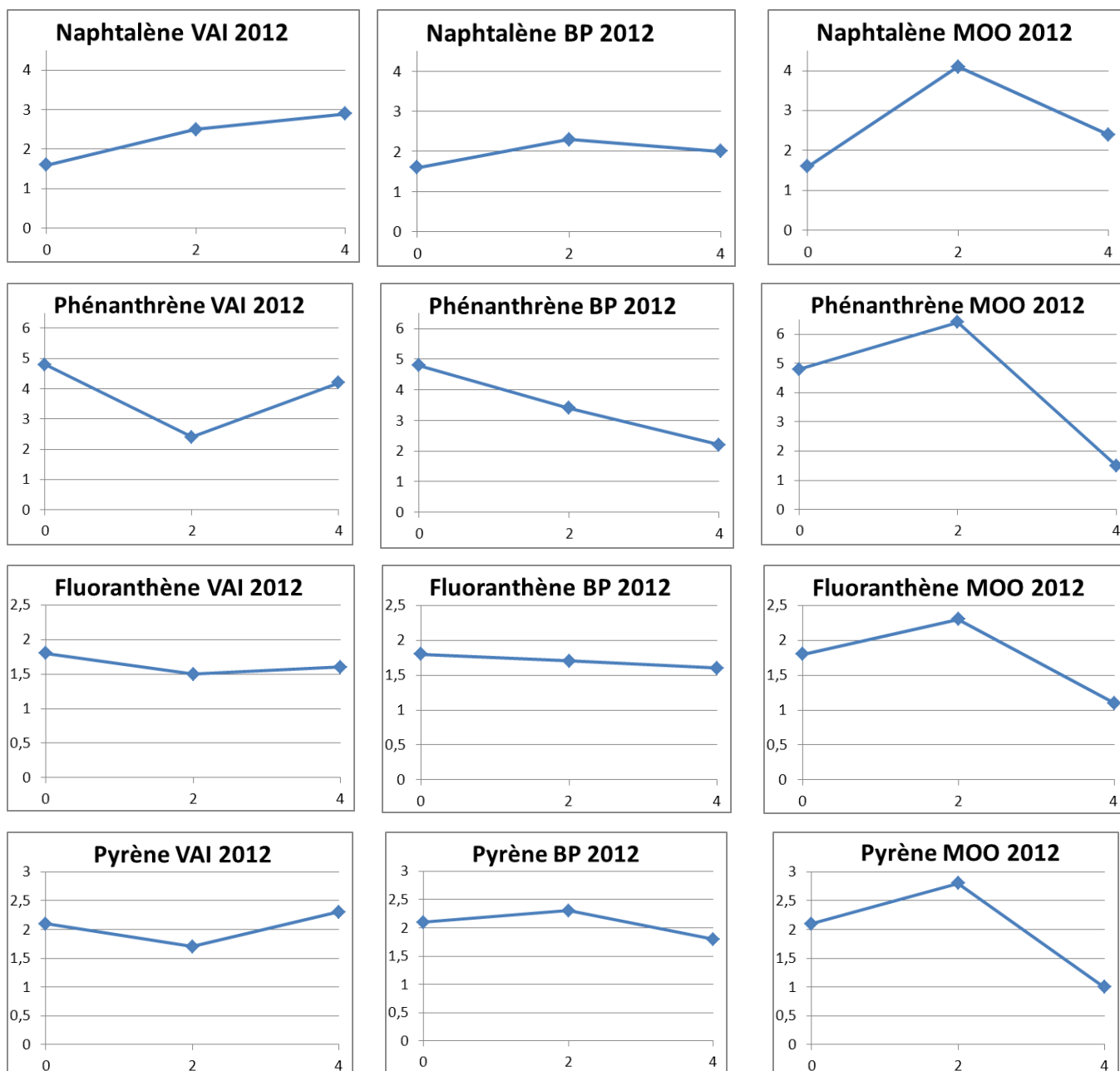


Figure 7 : Teneurs de 4 HP en  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  p.s. détectés systématiquement dans les chairs des huîtres perlières après 2 et 4 mois d'immersion sur les 3 sites étudiés en 2012

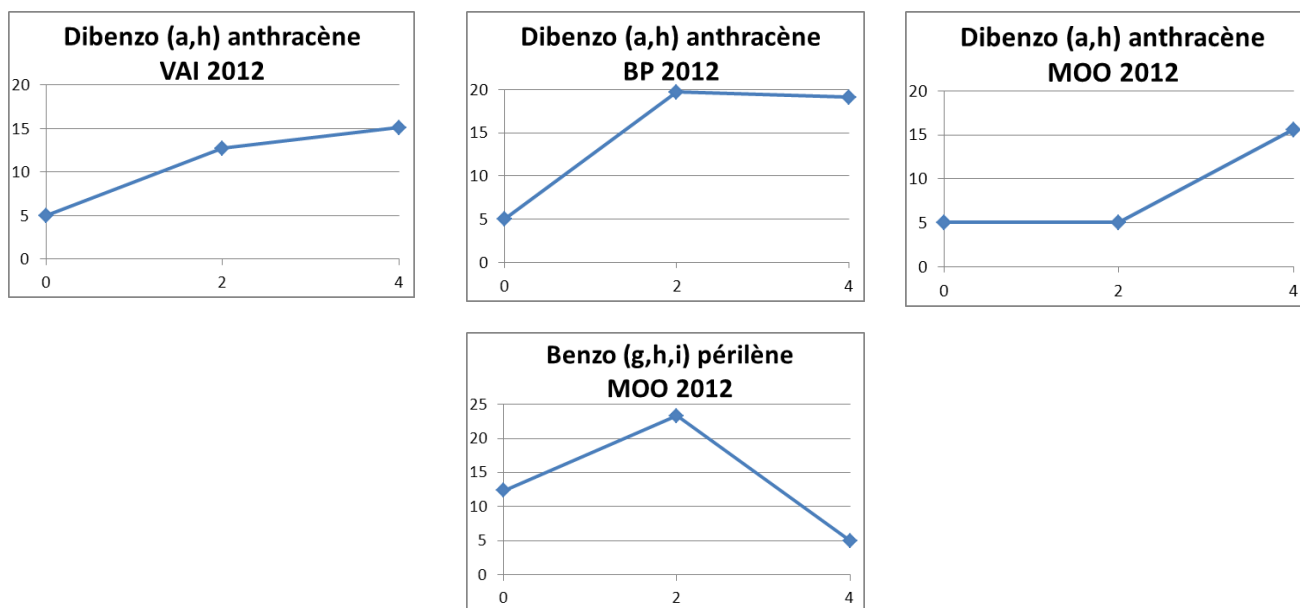


Figure 8 : Teneurs (LD = 5) en dibenzo (a,h) anthracène en  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  p.s. dans les chairs des huîtres perlières après 2 et 4 mois d'immersion sur les 3 sites étudiés en 2012 et en benzo (g,h,i) périlène sur le site de Moorea

Au premier semestre 2013, les 9 HAP détectés sur les 4 sites sont présents à de faibles teneurs ( $< 4 \mu\text{g.kg}^{-1}$  p.s.). Ce sont les prélèvements à T0 (témoin) et à T2 à Phaéton où le plus grand nombre de composés a été détecté. A Huahine, comme à Vairao, seul le phénanthrène a été décelé, c'est l'unique HAP détecté pour tous les sites (figure 9).

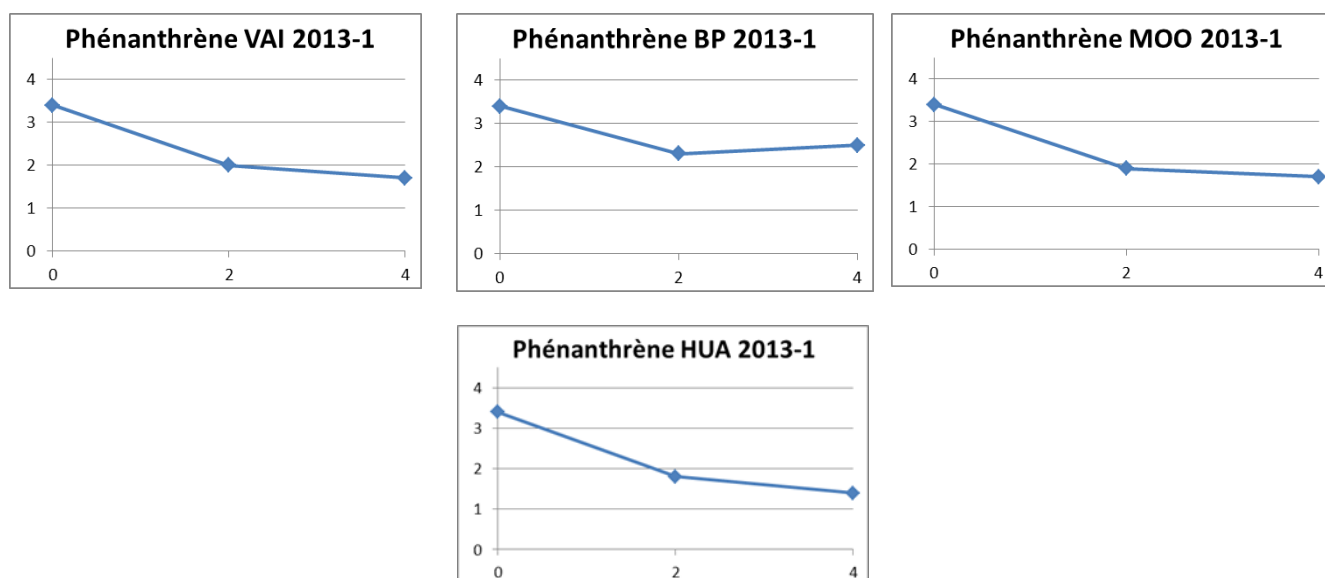


Figure 9 : Teneurs en phénanthrène en  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  p.s. dans les chairs des huîtres perlières après 2 et 4 mois d'immersion sur les 4 sites étudiés au 1<sup>er</sup> semestre 2013

Au second semestre 2013, seulement 4 HAP (fluorène, phénanthrène, fluoranthène et pyrène) ont été détectés sur les 4 sites à des teneurs très faibles. Comme en 2012, le phénanthrène (figure 10) est présent dans tous les échantillons.

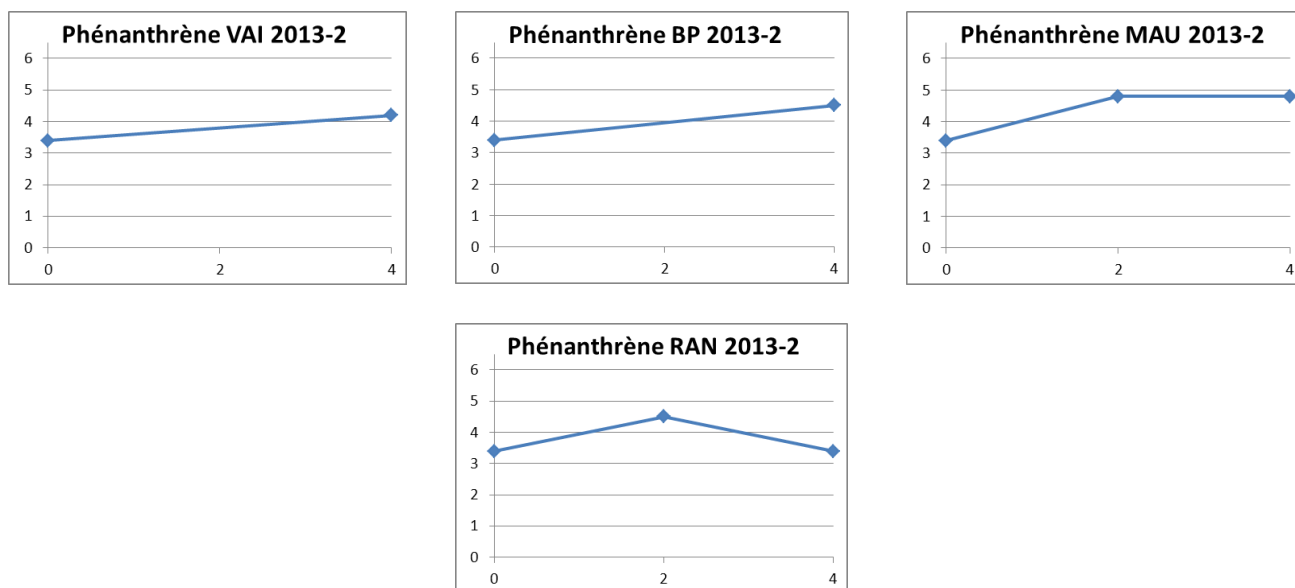


Figure 10 : Teneurs en phénanthrène en  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  p.s. dans les chairs des huîtres perlières après 2 et 4 mois d'immersion sur les 4 sites étudiés au 2<sup>nd</sup> semestre 2013

### Sédiments

En 2012, 8 hydrocarbures ont été détectés (tableau 7) dans le sédiment de Vairao, dont 3 étaient présents dans les chairs des huîtres sur ces sites. Un seul HAP a été détecté dans le sédiment de Phaéton et 4 HAP dans celui de Moorea.

Tableau 7 : Teneurs en HAP ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$  sec) dans les sédiments prélevés en 2012 sur les 3 sites étudiés

	HAP ( $\mu\text{g/kg sec}$ )								
	Naphtalène	Phénanthrène	Fluoranthène	Pyrène	Benzo (a) anthracène	Chrysène	Benzo (b) fluoranthène	Benzo (k) fluoranthène	Benzo (a) pyrène
VAI	<1,0	1,9	5	5,6	2,2	2,8	6,2	2,1	3,2
BP	1,1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
MOO	<1,0	3,4	3,2	2,7	<1,0	<1,0	1,4	<1,0	<1,0

Au second semestre 2013, 5 HAP ont été détectés à de faibles teneurs (tableau 8). 3 composés ont été mesurés dans le sédiment de Phaéton et 1 seul à Rangiroa (max 3,1  $\mu\text{g/kg p.s.}$ ).

Tableau 8 : Teneurs en HAP ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$  sec) dans les sédiments prélevés en 2013-2<sup>nd</sup> semestre sur les 4 sites étudiés

	HAP ( $\mu\text{g/kg sec}$ )				
	Fluorène	Phénanthrène	Fluoranthène	Pyrène	Benzo (b) fluoranthène
VAI	<1,0	2,9	<1,0	<1,0	<1,0
BP	1,4	<1,0	1,6	1,4	1,1
MAU	<1,0	3,1	1,3	1,1	<1,0
RAN	<1,0	3,1	<1,0	<1,0	<1,0



## 2.3.5 RADIOACTIVITE

### Chair des huîtres perlières

- Les résultats des mesures  $\gamma$  dans les chairs pour les 3 périodes étudiées sont donnés en annexe 7.

Aucun radionucléide émetteur  $\gamma$  d'origine artificielle n'a été détecté sur les prélèvements de 2012. Les limites de détection (LD) en  $^{137}\text{Cs}$ , en  $^{60}\text{Co}$  et  $^{241}\text{Am}$  sont inférieures à  $0,13 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais. Le  $^{40}\text{K}$  et le  $^{210}\text{Pb}$  (origine naturelle) ont des teneurs similaires sur les 3 sites.

De même que pour la première série de mesures en 2012, tous les échantillons prélevés au **premier semestre 2013** sur les 4 sites étudiés ont une activité en  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  et  $^{241}\text{Am}$  inférieure à la LD de  $0,19 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais. L'activité en  $^{210}\text{Pb}$  est un peu inférieure pour les prélèvements de Phaéton par rapport aux autres sites.

Lors de la dernière expérimentation au **second semestre 2013**, suite à un manque de matière pour l'échantillon immergé à Vairao, seules les mesures chimiques ont été réalisées en priorité et les mesures de radioactivité gamma ont dû être annulées. Aucun radionucléide d'origine artificielle n'a été détecté sur les 5 mesures effectuées.

- Les prélèvements pour la **mesure du plutonium (Pu)** ont été effectués en fin d'expérimentation en **2012** à T4 (tableau 9). Les activités mesurées dans les chairs à Tahiti (Vairao et Phaéton) sont significatives et du même ordre de grandeur. Ces activités sont faibles.

Tableau 9 : Activités ( $\text{mBq.kg}^{-1}$  frais) des isotopes du Pu dans la chair des huîtres transplantées sur 2 sites en 2012

	Activité en mBq/kg frais			
	$^{238}\text{Pu}$		$^{239+240}\text{Pu}$	
VAI	0,05	$\pm 0,02$	0,51	$\pm 0,05$
BP	0,11	$\pm 0,02$	0,86	$\pm 0,06$

En **2013**, le Pu a été mesuré à faible teneur (tableau 10) dans la chair des huîtres provenant de 2 sites, Rangiroa et Maupiti),

Tableau 10 : Activités ( $\text{mBq.kg}^{-1}$  frais) des isotopes du Pu dans la chair des huîtres transplantées sur 2 sites en 2013-2<sup>nd</sup> semestre

	Activité en mBq/kg frais			
	$^{238}\text{Pu}$		$^{239+240}\text{Pu}$	
MAU	0,04	$\pm 0,02$	1,07	$\pm 0,36$
RAN	0,16	$\pm 0,07$	1,00	$\pm 0,17$

## Sédiments

Un échantillon de sédiment sous la filière a été prélevé sur chaque site en fin d'expérimentation pour une mesure de spectrométrie  $\gamma$  (tableau 11). Les activités sont du même ordre de grandeur que celles mesurées sur l'ensemble de la Polynésie française [9].

En 2012, l'activité la plus élevée en  $^{137}\text{Cs}$  est de  $0,44 \pm 0,04 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  pour le sédiment de Phaéton.

En 2013, le  $^{137}\text{Cs}$  a été détecté uniquement à Phaéton (tableau 12). Sur ce site, comme en 2012, la teneur en  $^{210}\text{Pb}$  ( $213 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) est forte comparée aux autres sites. Elle doit être associée au plus fort pourcentage de matière organique,  $14,7 \pm 0,3 \%$ , mesuré dans les sédiments puisqu'il est inférieur à 4 % sur les 3 autres sites.

Les analyses de métaux donnent des résultats proches des limites de détection (0,1 et 1 mg/kg p.s. respectivement pour la chair des huîtres et pour les sédiments) alors que l'isotope 210 est systématiquement quantifié dans les huîtres et dans les sédiments. Les valeurs en  $^{214}\text{Pb}$  sont bien plus faibles que celles de  $^{210}\text{Pb}$  alors que naturellement ces valeurs sont égales puisque le second est un descendant du premier. Cet excès de  $^{210}\text{Pb}$  est principalement issu d'un apport anthropique consécutif en partie à la combustion de métaux fossiles. Cet excès observé dans les sédiments est aussi présent dans les huîtres avec des concentrations plus faibles.  $^{210}\text{Pb}$  est en effet systématiquement quantifié à un niveau n'excédant rarement  $10 \text{ Bq/kg p.s}$  et  $^{214}\text{Pb}$  est en LD inférieure à  $1 \text{ Bq/kg p.s}$ .

Tableau 11 : Activités ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) des sédiments prélevés sur les 3 sites en 2012

	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ p.s.}$ )										
	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am}$	$^7\text{Be}$	$^{234}\text{Th}$	$^{214}\text{Pb}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{228}\text{Ac}$	$^{212}\text{Pb}$	$^{208}\text{Tl}$
VAI	$27 \pm 1$	$0,03 \pm 0,01$	$\leq 0,05$	$\leq 0,14$	$1,8 \pm 0,4$	$25,0 \pm 1,9$	$1,8 \pm 0,1$	$67,3 \pm 5,4$	$1,6 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$
BP	$108 \pm 6$	$0,44 \pm 0,04$	$\leq 0,07$	$\leq 0,79$	$10,5 \pm 0,8$	$38,1 \pm 2,8$	$7,6 \pm 0,4$	$215 \pm 17$	$9,7 \pm 0,5$	$12,3 \pm 0,7$	$3,5 \pm 0,2$
MOO	$256 \pm 12$	$0,33 \pm 0,04$	$\leq 0,10$	$\leq 0,26$	$8,3 \pm 0,7$	$44,7 \pm 3,4$	$10,8 \pm 0,5$	$206 \pm 16$	$15,8 \pm 0,7$	$20,0 \pm 1,1$	$5,8 \pm 0,3$

Tableau 12 : Activités ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) des sédiments prélevés sur les 4 sites au 2<sup>nd</sup> semestre 2013

	Activité ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ p.s.}$ )										
	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{60}\text{Co}$	$^{241}\text{Am}$	$^7\text{Be}$	$^{234}\text{Th}$	$^{214}\text{Pb}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{228}\text{Ac}$	$^{212}\text{Pb}$	$^{208}\text{Tl}$
VAI	$30 \pm 2$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,14$	$2,3 \pm 0,3$	$42,2 \pm 3,0$	$1,9 \pm 0,1$	$98,5 \pm 7,7$	$2,2 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,1$
BP	$103 \pm 6$	$0,47 \pm 0,07$	$\leq 0,16$	$\leq 0,33$	$3,2 \pm 0,6$	$39,4 \pm 3,2$	$9,1 \pm 0,5$	$213 \pm 17$	$10,8 \pm 0,6$	$12,6 \pm 0,8$	$3,2 \pm 0,2$
MAU	$21 \pm 1$	$\leq 0,06$	$\leq 0,06$	$\leq 0,09$	$5,9 \pm 0,4$	$56,3 \pm 4,2$	$1,3 \pm 0,1$	$64,6 \pm 5,2$	$0,7 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,1$
RAN	$8 \pm 1$	$\leq 0,08$	$\leq 0,07$	$\leq 0,16$	$1,7 \pm 0,3$	$44,1 \pm 3,3$	$2,4 \pm 0,2$	$13,0 \pm 1,4$	nd	nd	nd

nd = non détecté

## 2.4 SUIVI PHYSICO CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

Les résultats détaillés de chacun de ces suivis ont été restitués dans leurs rapports respectifs [2, 3, 4]. Les résultats sont présentés ici sous forme de moyenne globale sur l'ensemble des suivis et pour chaque paramètre mesuré.

### 2.4.1 ANALYSES HYDROLOGIQUES

#### Température

Les profils de température enregistrés sur les 6 sites sont parfaitement cohérents avec le cycle saisonnier. Les températures les plus froides sont enregistrées durant l'hiver austral, c'est-à-dire entre juillet et septembre, les valeurs les plus chaudes sont observées entre les mois de décembre et d'avril, durant l'été austral. Sur l'ensemble des suivis et des sites, la plus faible température a été mesurée à Vairao le 30 septembre 2012 avec une valeur de 25,35 °C et la plus forte valeur a été mesurée à Huahine où la température de l'eau a atteint 30,29°C le 29 mars 2013 (tableau 13).

Malgré des tendances générales similaires, associées aux variations annuelles, les profils de température sont toutefois particuliers à chaque site et les variations de température, sur une plus courte échelle de temps (quelques jours), sont largement influencées par les conditions météorologiques (précipitations, vent et houle) particulières à une île et un site. Ainsi, les sites de Phaéton et de Vairao ont des profils de température toujours très similaires puisque les deux sites sont géographiquement proches et donc influencés par les mêmes événements météorologiques.

Les différents profils révèlent également des variations journalières de l'ordre de plusieurs dixièmes de °C, qui sont largement influencées par le rythme nyctéméral. Encore une fois, ces variations sont propres à chaque site puisque les températures journalières extrêmes sont atteintes à différents moments de la journée selon les sites. Les sites de Huahine et Maupiti sont ceux qui enregistrent les plus grandes variations journalières certainement liées à la taille du lagon. A l'inverse, Rangiroa est le site qui enregistre les plus faibles variations car tamponné par la masse océanique. Vaiare est le site pour lequel la différence entre les températures extrêmes est la plus importante.

Tableau 13 : Températures minimales et maximales pour chacun des sites.

	Minimum			Maximum		
	Valeurs (°C)	Date	Heure	Valeurs (°C)	Date	Heure
Vairao	25,35	30/09/2012	11:00	29,24	4/04/2013	22:00
Phaéton	25,61	9/09/2012	6:00	29,31	4/02/2014	22:00
Moorea	25,59	4/09/2012	6:00	30,05	4/04/2013	16:00
Huahine	26,1	4/07/2013	22:00	30,29	29/03/2013	14:00
Maupiti	25,73	9/11/2013	11:00	29,79	25/12/2013	2:00
Rangiroa	26,89	1/11/2013	7:00	29,04	3/12/2013	15:00

## Salinité

En Polynésie française, la salinité moyenne dans une zone lagonnaire est située autour de 36 psu. Les potentielles sources d'eau douce affectant la salinité de l'eau dans les lagons sont multiples et leurs impacts sur la salinité du lagon dépendent principalement de la présence d'un bassin versant en amont et de sa taille, de l'éloignement du littoral et bien évidemment de la pluviométrie locale. Ainsi, un site dont la salinité est inférieure à 36 psu indiquerait qu'il est soumis à un certain apport d'eau douce issu soit directement d'apport ponctuel (précipitations), soit des eaux de ruissellement terrestre (rivières, effluent, lessivage des sols). Dans le dernier cas de figure, un tel site serait potentiellement plus à risque de pollution en fonction des activités côtières environnantes.

Les différents suivis ont naturellement révélé un gradient de salinité en rapport avec l'importance des sources d'apports en eau douce. Parmi tous les sites suivis, Phaéton est le site pour lequel la salinité moyenne, sur l'ensemble du projet, est la plus basse (figure 11) avec une valeur de  $34,06 \pm 1,23$  psu. La baie de Phaéton est en effet soumise à d'importants apports d'eau douce car elle est située en aval d'un grand bassin versant. De plus, le site étant proche du littoral, l'influence terrestre y est d'autant plus importante.

En revanche, sur le site de Rangiroa, la salinité est maintenue autour de 36 psu avec très peu de variation. Rangiroa étant un atoll, les apports d'eau douce sont exclusivement issus des précipitations et sont moins importants que dans les baies et lagons des îles hautes. Les autres sites, tous situés dans le lagon d'une île haute, révèlent eux aussi des baisses de salinité variables indiquant des apports d'eau douce en quantité variable, probablement liées à la taille des bassins versant adossés aux sites d'études.

Après Phaéton, Vaiare est le deuxième site montrant la plus faible salinité suivi de Huahine, Vairao et Maupiti. Le site de Vairao, situé le plus loin du littoral, est affecté uniquement lors de périodes de fortes précipitations.

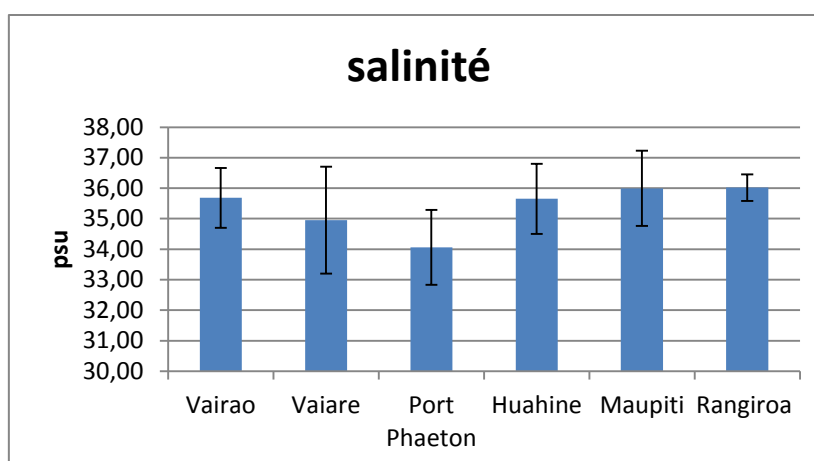


Figure 11 : Valeurs moyennes de la salinité (psu) sur l'ensemble des suivis et pour chacun des sites. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts type de chaque moyenne.

### Matière en suspension

Les taux de matière en suspension (MES) mesurés sont assez faibles mais classiques des milieux échantillonnés. Moorea - Vaiare et Phaéton, présentent les plus hauts taux de MES (figure 12) avec respectivement une moyenne totale de  $6,90 \pm 5,71 \text{ mg.l}^{-1}$  et  $5,40 \pm 4,99 \text{ mg.l}^{-1}$  dont une partie est certainement liée aux apports terrestres. Ce paramètre révèle des mesures très variables d'une campagne d'échantillonnage à l'autre, principalement à Phaéton, Vairao et Moorea. En effet le site de Vairao a présenté, de manière exceptionnelle, un très fort taux de MES lors du 1<sup>er</sup> échantillonnage du suivi 1 pour ensuite revenir à de faibles valeurs, équivalentes aux valeurs obtenues à Maupiti.

Les sites de Huahine et Maupiti présentent tous les deux un faible taux de MES avec  $2,37 \pm 0,66 \text{ mg.l}^{-1}$  et  $2,64 \pm 0,40 \text{ mg.l}^{-1}$ . Certaines conditions météorologiques, plus particulièrement le vent, la houle et la pluie, peuvent affecter la quantité de matière en suspension présente dans l'eau. Le vent et la houle contribuent à la remise en suspension des sédiments tandis que de fortes précipitations peuvent induire un apport de matière dissoute via le lessivage des sols.

A Rangiroa, un régime de vent important lors du dernier échantillonnage (T4) du suivi 3 a entraîné la remise en suspension du sable lagonnaire et ainsi augmenté de façon notable la masse de MES pourtant très faible à T0 et T2 du même suivi.

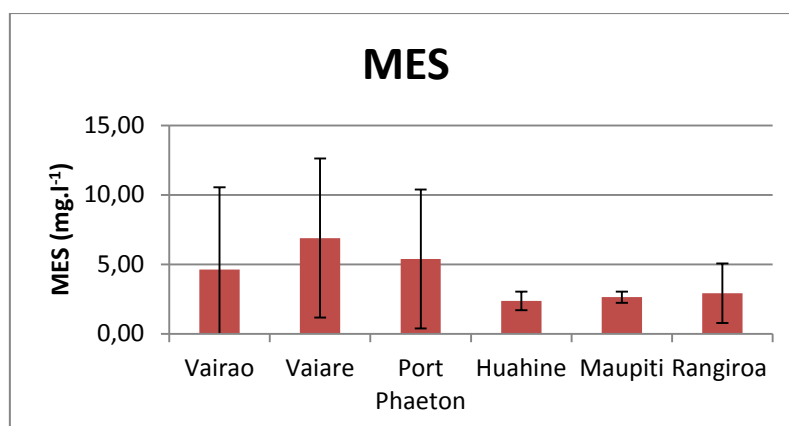


Figure 12 : Valeurs moyennes des matières en suspension ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) sur l'ensemble des suivis et pour chacun des sites. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts type de chaque moyenne.

### Charges bactériologiques

Les analyses microbiologiques ont révélé des charges bactériologiques très faibles sur l'ensemble des sites dont les valeurs étaient, pour la plupart des échantillons, inférieures au seuil de détection ( $10 \text{ UFC.100 ml}^{-1}$ ) pour les entérocoques intestinaux. Les charges en *Escherichia coli* se sont aussi révélées très faibles pour la plupart des sites et des campagnes d'échantillonnages avec cependant des contaminations ponctuelles observées uniquement à Phaéton, Vairao et Moorea.

A Phaéton, la charge bactérienne en *E. coli* a dépassé le seuil des  $100 \text{ UFC.100 ml}^{-1}$  (eau de moyenne qualité) à deux reprises, à T2 lors du suivi 1 et à T0 du suivi 2.

A Vairao, les échantillons prélevés à T2 du suivi 1 ont aussi révélé une eau de moyenne qualité. Néanmoins, dans l'ensemble, les eaux de tous les sites peuvent être considérées comme des eaux de baignade de bonne qualité.

## Chlorophylles

Les taux de chlorophylle totaux mesurés sont assez faibles pour l'ensemble des sites avec des moyennes globale comprises entre  $0,47 \pm 0,36 \mu\text{g.l}^{-1}$  (Huahine) et  $1,73 \pm 1,34 \mu\text{g.l}^{-1}$  (Maupiti) (figure 13). De telles valeurs ne sont pas anormales compte tenu du caractère oligotrophe des eaux tropicales et de l'absence de bloom phytoplanctonique.

Les taux de chlorophylles sont très variables entre les sites et dans le temps. Sur les suivis 1 et 2, le site de Phaéton était celui qui présentait les concentrations les plus importantes tandis que sur le troisième suivi, Maupiti est le site où les teneurs sont les plus élevées avec cependant d'importantes variations entre les campagnes d'échantillonnages. En revanche, Rangiroa et Huahine sont les sites où les teneurs sont toujours les plus faibles.

Une telle variabilité temporelle peut s'expliquer par la situation géographique unique de chacun de ces sites avec des combinaisons d'expositions au vent, d'apports d'eaux douces issues des effluents terrestres qui, plus riches en nutriment, favoriseront le développement sporadique de phytoplancton. Bien que sur chacun des sites certains pics de chlorophylle coïncident avec une baisse de la salinité, la corrélation entre les deux paramètres reste cependant très faible.

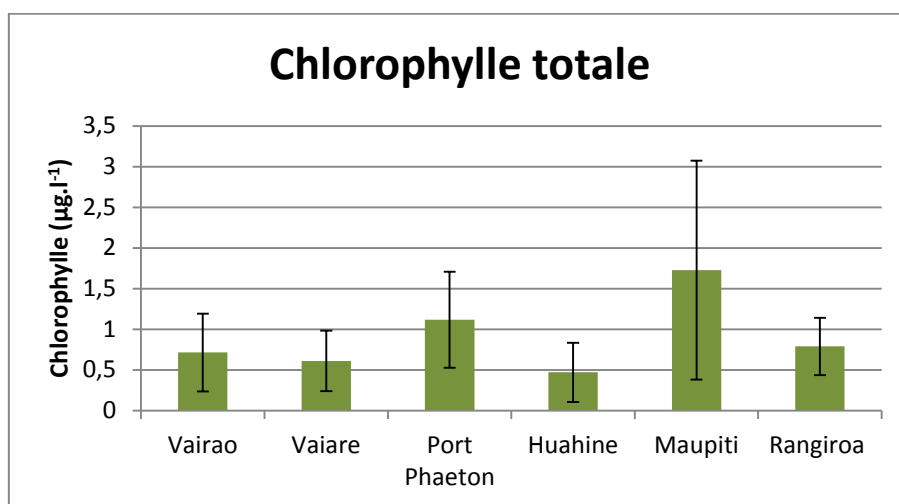


Figure 13 : Valeurs moyennes de la chlorophylle totale ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) sur l'ensemble des suivis et pour chacun des sites. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts type de chaque moyenne.

## Nutriments

Les teneurs en nutriments enregistrées sur les différents sites au cours des différentes campagnes sont assez variables.

Pour l'ensemble des sels nutritifs, il en ressort que le **silicate** est l'élément présent en plus forte concentration sur tous les sites. Les teneurs les plus fortes ont été enregistrées à Phaéton ( $9,32 \pm 5,45 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ) tandis que les concentrations les plus faibles ont été mesurées à Rangiroa et Maupiti (figure 14) avec des moyennes inférieures à  $1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ . Moorea, Huahine et Vairao sont très similaires et sont situés entre les deux extrêmes. Comme attendu, l'évolution du silicate au cours des différents suivis est liée aux lessivages des sols et donc aux apports en eau douce. Ainsi, on observe une certaine corrélation entre la diminution de la salinité et l'augmentation du taux de silicate à Phaéton, Vairao et Huahine.

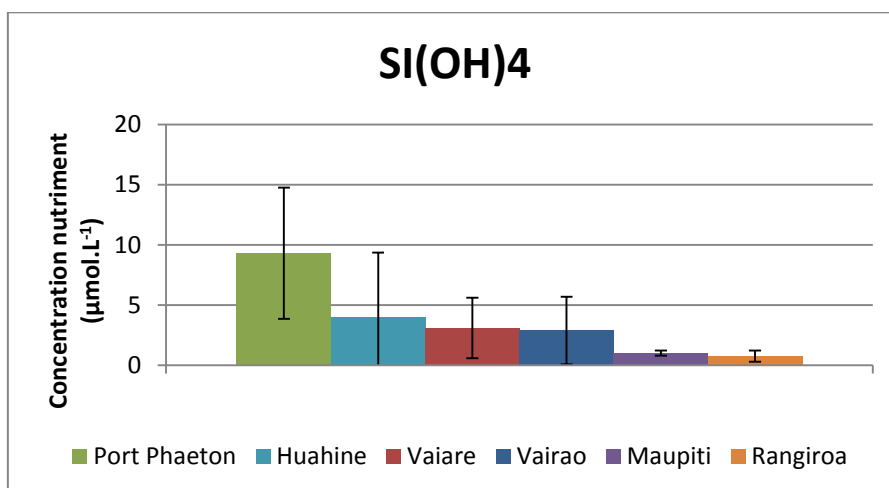


Figure 14 : Valeurs moyennes du silicate ( $Si(OH)_4$ ) en  $\mu\text{mol.l}^{-1}$  sur l'ensemble des suivis et pour chacun des sites. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts type de chaque moyenne.

Le **phosphate** est aussi variable et fait partie des éléments les plus abondants. Les teneurs les plus fortes ont été enregistrées à Maupiti et à Rangiroa avec respectivement  $0,49 \pm 0,33 \mu\text{mol.l}^{-1}$  et  $0,40 \pm 0,09 \mu\text{mol.l}^{-1}$  tandis que les plus faibles valeurs ont été mesurées à Vairao et à Moorea avec  $0,24 \pm 0,18 \mu\text{mol.l}^{-1}$  et  $0,25 \pm 0,16 \mu\text{mol.l}^{-1}$  (figure 15).

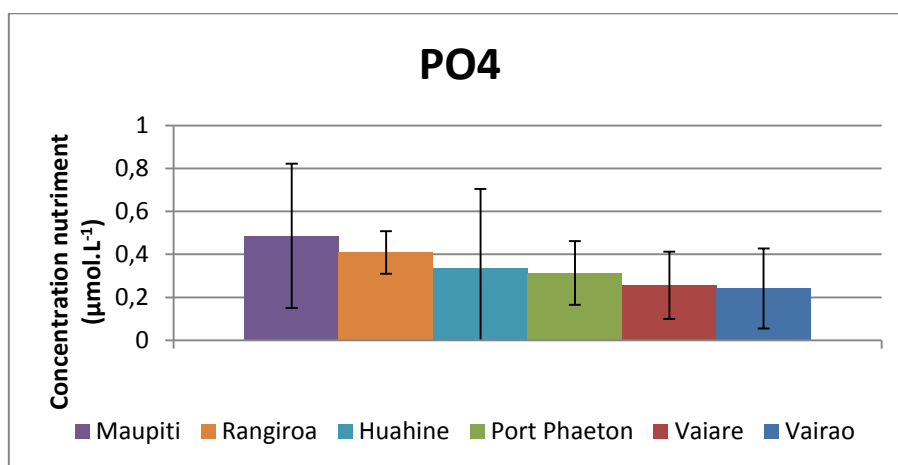


Figure 15 : Valeurs moyennes du phosphate ( $PO_4$ ) en  $\mu\text{mol.l}^{-1}$  sur l'ensemble des suivis et pour chacun des sites. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts type de chaque moyenne.

Sur l'ensemble du projet, le dosage de l'**ammonium** indique des concentrations très variables suivant les suivis et les campagnes d'échantillonnages. Phaéton est le site où cet élément est en plus forte concentration avec  $1,29 \pm 1,62 \mu\text{mol.l}^{-1}$  mais avec d'importantes variations. Les sites de Moorea, Huahine et Vairao sont similaires tandis que Rangiroa et Maupiti présentent les plus faibles valeurs avec respectivement  $0,20 \pm 0,12 \mu\text{mol.l}^{-1}$  et  $0,08 \pm 0,03 \mu\text{mol.l}^{-1}$ .

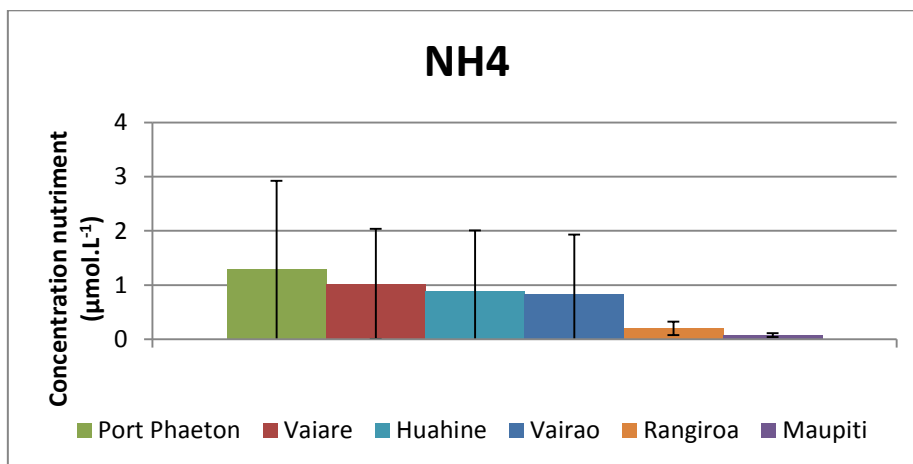


Figure 16 : Valeurs moyennes de l'ammonium (NH<sub>4</sub>) en μmol.l<sup>-1</sup> sur l'ensemble des suivis et pour chacun des sites. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts type de chaque moyenne.

Le **nitrate** est faiblement représenté et peu variable sur la plupart des sites avec cependant une exception à Phaéton où la moyenne globale est la plus élevée et atteint  $0,76 \pm 1,15 \mu\text{mol.l}^{-1}$  (figure 17). De telles variations indiqueraient que le site de Phaéton est soumis à des apports ponctuels de nitrate. Tous les autres sites présentent des concentrations inférieures à  $0,2 \mu\text{mol.l}^{-1}$ .

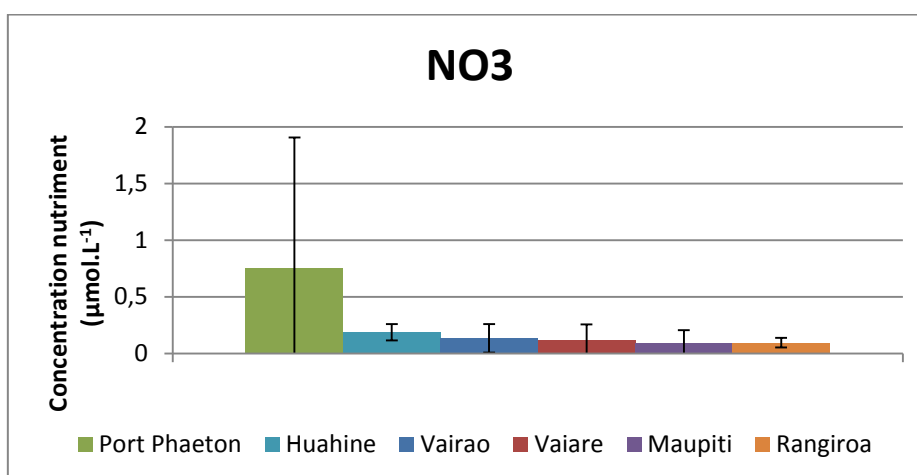


Figure 17 : Valeurs moyennes du nitrate (NO<sub>3</sub>) en μmol.l<sup>-1</sup> sur l'ensemble des suivis et pour chacun des sites. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts type de chaque moyenne.

Le **nitrite** est le nutriment avec les plus faibles concentrations pour tous les sites et sur l'ensemble des trois suivis. Les sites de Moorea, Vairao et Phaéton ont des moyennes globales similaires, situées autour de  $0,04 \mu\text{mol.l}^{-1}$  suivi de Maupiti et Huahine et enfin Rangiroa qui présente les plus faibles valeurs (figure 18).



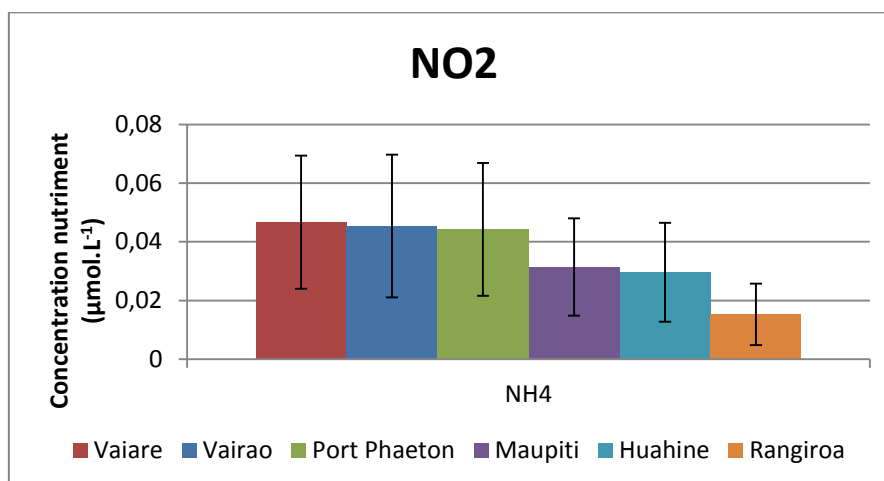


Figure 18 : Valeurs moyennes du nitrite (NO<sub>2</sub>) en μmol.L<sup>-1</sup> sur l'ensemble des suivis et pour chacun des sites. Les barres d'erreurs correspondent aux écarts type de chaque moyenne.

La variabilité spatiale observée dans les concentrations en sels nutritifs semble être principalement liée à la fois à la taille des bassins versants adossés au site d'étude et aux activités côtières. Phaéton est le site où les teneurs en sels nutritifs sont globalement les plus importantes tandis que Rangiroa est le site où ils y sont en plus faible concentration.

On notera que les concentrations des différents sels nutritifs mesurées à Maupiti, malgré que le site soit situé sur une île haute et proche de la côte, sont équivalentes au site de Rangiroa. Néanmoins, sur Maupiti le lessivage des sols de l'île volcanique reste très limité du fait même de la petite taille de l'île et d'une activité agricole minimale. Globalement, les données sont classiques (dans les moyennes) par rapport aux valeurs enregistrées dans le cadre de précédents suivis des îles hautes de Polynésie.

## 2.4.2 ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES

### Granulométrie

Les 6 sites présentent des profils granulométriques très différents (figure 19) et des sédiments d'origines différentes. Phaéton, Moorea et Maupiti présentent un sédiment vaseux dont les profils granulométriques sont dominés par des grains de très petites tailles et principalement d'origine terrigène pour Phaéton et Moorea et carbonatée pour Maupiti. Vairao présente aussi des sédiments à dominance carbonatée et un profil granulométrique à tendance sablo-vaseux tandis que Rangiroa est le site dont le sédiment sableux est le plus grossier. Huahine présente un sédiment composé de sable fin et grossier à dominance carbonatée.

Les différences observées dans la distribution des grains entre les sites sont liées conjointement à l'environnement hydrodynamique des sites et associé au contexte « bassin versant » du site. Les sites de Phaéton, Moorea et Maupiti seraient associés à une agitation hydrodynamique très réduite qui est par contre un peu plus importante à Vairao et relativement forte à Rangiroa. Le profil granulométrique, et donc l'hydrodynamisme, de Huahine serait situé entre celui de Vairao et de Rangiroa. Le suivi temporel des sites de Vairao et Phaéton a permis de constater que la granulométrie est un paramètre qui varie très peu d'un suivi à l'autre.

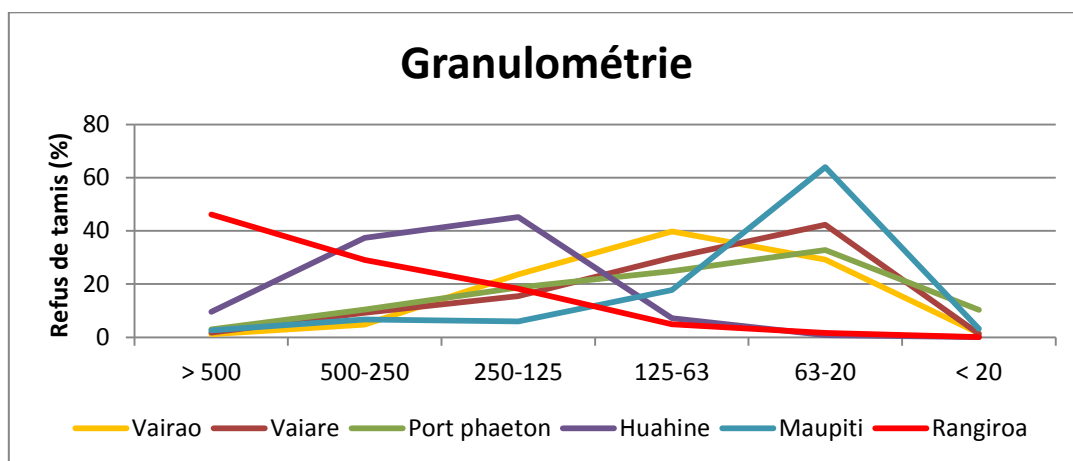


Figure 19 : Granulométrie des sédiments (en  $\mu\text{m}$ ) des 6 sites exprimés en pourcentage moyen de refus de tamis suivant 5 classes de tailles.

### Sédimentation

Le taux de sédimentation d'un site à l'autre est largement variable et serait influencé par plusieurs facteurs tels que les conditions météorologiques, l'influence du littoral et les conditions hydrodynamiques du site. Le site de Huahine, suivi de Phaéton et de Maupiti présentent les taux de sédimentation les plus importants (figure 20) pouvant témoigner d'une part d'un apport de sédiment plus important (influence du littoral) et d'une courantologie réduite d'autre part. Le site de Vairao présente un faible taux de sédimentation mais le site de Rangiroa se distingue par des valeurs bien inférieures à tous les autres sites.

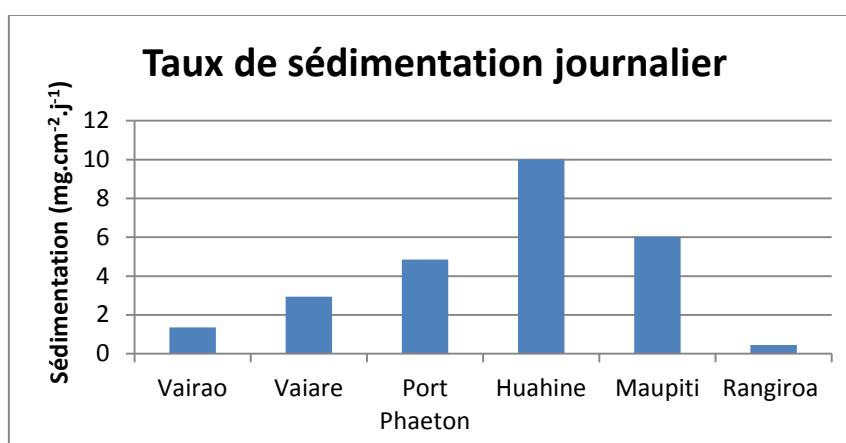


Figure 20 : Taux de sédimentation journalier ( $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$ ) pour chacun des 6 sites.

## 2.4.3 ANALYSES BIOLOGIQUES

### Faune et flore benthique

Les observations benthiques réalisées sur les six sites étudiés rapportent des fonds plutôt pauvres en organismes sessiles. Rangiroa, Maupiti et Huahine sont les seuls sites qui présentent des structures coralliennes à proximité avec de ce fait une plus grande diversité. On note très peu de variation entre les suivis, à part au niveau des assemblages d'organismes présents dans les paniers d'huîtres perlières. Le tableau 14 reprend l'ensemble des observations réalisées pour chacun des sites.

Tableau 14 : Faune et flore benthique associée à chaque site.

	Vairao	Phaéton	Vaiare	Huahine	Maupiti	Rangiroa
<b>Algues</b>						
Halophila sp.	x			x		
Halimeda sp.	x			x	x	
Caulerpa					x	
Corallinacées				x		x
Rhodophycées					x	
Cyanophycées	x				x	
<b>Ascidies</b>						
Balanoglossus sp.	x					
<b>Crustacés</b>						
Balanus sp.		x	x			
Alpheidae	x					
<b>Gastropodes</b>						
<b>Spongiaires</b>						
Hydraire			x			
Actinaria			x	x		
Ceriantharia	x					
<b>Scléractianiaires</b>						
<i>Pachyseris sp.</i>				x		
<i>Fungia sp.</i>				x		
<i>Herpolitha sp.</i>				x		
<i>Leptoseris sp.</i>				x		
<i>Acropora sp.</i>						x
<i>Pocillopora sp.</i>						x
<i>Porites sp.</i>						x
<b>Echinodermes</b>						
<i>Echinometra calamaris</i>	x					
Serpulidae (salmacine)	x	x				

### Faune mobile

Le dispositif vidéo a pu être installé 2 fois à Vairao et seulement une fois pour Phaéton, Moorea, Maupiti et Rangiroa tandis qu'à Huahine il n'a jamais pu être réalisé. Le tableau 15 regroupe l'ensemble de la faune mobile observée pour chacun des sites. Tous les individus (poissons uniquement) ont été identifiés au minimum jusqu'à la famille et jusqu'à l'espèce pour la plupart. Phaéton, Vairao et Moorea sont les sites les plus pauvres en diversité et en abondance. Sur ces sites, très peu de poissons sédentaires ont été observés, avec principalement des gobidae sur les trois sites et des apogonidae à Moorea - Vaiare, des passages occasionnels de carangidae, mullidae, fistularidae, balistidae et de raies ont cependant été observés. Maupiti est plus diversifié avec une dizaine d'espèces de poissons présents, dont certaines espèces présentant à la fois des individus juvéniles et adultes. De nombreux juvéniles d'*holocentridae* et *pomacentridae* ont aussi été observés dans les paniers de nacres de Maupiti. Le site de Rangiroa est le site où l'on retrouve la plus grande diversité ichtyologique avec pas moins de 17 espèces dont certaines présentent des individus de grande taille

(Baliste, loche marbrée, bec de cannes) et de nombreux individus (plus de 50 individus de perches pagaies).

Tableau 15 : Faune mobile observée sur chacun des sites

	Vairao	Phaéton	Vaiare	Huahine	Maupiti	Rangiroa
<b>Acanthuridae</b>						
<i>Naso brevirostris</i>						4
<b>Apogonidae</b>			10			
<b>Balistidae</b>	1					
<i>Balistapus undulatus</i>						1
<i>Balistoides viridescens</i>						2
<i>Pseudobaliste flavimarginatus</i>						1
<b>Blennidae</b>						
<i>Petroscirtes xestus</i>			plusieurs			
<b>Carcharhinidae</b>						
<i>Carcharinus melanopterus</i>						1
<b>Chaetodontidae</b>						
<i>Chaetodon auriga</i>						3
<b>Carangidae</b>					1	
<i>Seriola rivoliana</i>	1					
<i>Caranx papuensis</i>	1					
<i>Gnathanodon speciosus</i>		1	2		1	
<b>Fistularidae</b>						
<i>Fistularia commersonii</i>	1					
<b>Gobidae</b>	Plusieurs individus	Plusieurs individus	plusieurs individus			
<i>Ctenogobiops feroculus</i>	4					
<i>Coryphopterus neophytus</i>					2	
<i>Amblygobius nocturnus</i>					1	
<b>Holocentridae</b>					Nombreux j* (Panier)	
<b>Labridae</b>						
<i>Labroides bicolor</i>						1
<i>Oxycheilinus unifascitus</i>						1
<b>Lethrinidae</b>						
<i>Lethrinus olivaceus</i>					1 j* + 1	7
<i>Lethrinus xanthurus</i>						1
<b>Lutjanidae</b>						
<i>Aprion viriscens</i>						1
<i>Lutjanus fulvus</i>			1		2	
<i>Lutjanus gibbus</i>						55
<b>Mullidae</b>						
<i>Parupeneus barberinus</i>	1					1
<i>Upeneus arge</i>					1 j* + 1	

Tableau 15 (suite) : Faune mobile observée sur chacun des sites

	Vairao	Phaéton	Vaiare	Huahine	Maupiti	Rangiroa
<b>Pomacentridae</b>					Nombreux j* (Panier)	
<i>Dascyllus aruanus</i>						4
<i>Pomacentrus pavo</i>						10
<b>Scaridae</b>						1
<i>Leptoscarus vaigiensis</i>					2 j*	
<b>Serranidae</b>						1
<i>Cephalopholis argus</i>						1
<i>Epiphenelus polyphekadion</i>						1
<b>Dasyatidae</b>						
<i>Himantura fai</i>	1					
<b>Mollusque</b>						
Gastropodes non identifié	Nombreux sur le fond	Nombreux sur le fond			Nombreux sur le fond	
Crabe non identifié	1	3				

\* j = individu juvénile

## 2.5 DISCUSSION ET COMPARAISON DES SUIVIS ET DES SITES

Au total, les huîtres perlières utilisées comme biointégrateur ont été immergées sur 5 sites de Polynésie au cours de 3 suivis dans le temps, en 2012 et aux 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> semestres 2013. Les contaminants chimiques et radiologiques ont été mesurés dans les chairs des mollusques. En parallèle, les paramètres physico-chimiques et biologiques du milieu ont été enregistrés.

### 2.5.1 DISCUSSION SUR LES ANALYSES DE CONTAMINANT

L'origine anthropique des **métaux lourds** peut être due à l'utilisation de batteries électriques et de piles (Cd, Pb, Zn), la combustion de charbon et de fuel (Cd, Hg, Pb), l'incinération des ordures (Cd, Hg, Zn, Cu), le traitement des surfaces métalliques (Cd, Cr, Fe, Zn), les peintures et vernis (Cd, Pb, Zn), la métallurgie (Fe), l'utilisation d'engrais (Cd, Fe, Zn, Cu), d'huiles (Pb, Cr), la corrosion des toitures (Zn), etc...

**Le cadmium, le mercure et le plomb sont classés substances dangereuses prioritaires.** Ce sont des composés très toxiques pour l'homme et pour l'environnement.

Les **composés organochlorés** ont été les pesticides les plus utilisés. De nombreux composés sont encore autorisés en Polynésie (Arrêté n°1065 CM). Ceux qui ont été interdits sont pour la plupart fortement rémanents.

Les polychlorobiphényles (PCB) sont des produits de synthèse utilisés dans des installations électriques (isolants diélectriques, transformateurs et condensateurs). Le DDT, le lindane, les dieldrine, aldrine, isodrine, endrine sont des insecticides organochlorés, dangereux pour l'environnement et persistants. Les amides (acétochlore, alachlore, heptachlore epoxy exo et endo, propyzamide...) sont des herbicides fortement solubles et facilement dégradables.

Les **HAP** proviennent de la pyrolyse ou de la combustion incomplète de matières organiques comme le pétrole, le charbon, les ordures ménagères, le carburant de moteur à essence et diesel. Ce sont des Polluants Organiques Persistants et 8 d'entre eux sont des Substances dangereuses prioritaires.

Suite aux retombées des essais nucléaires atmosphériques de 1965 à 1974, les **radionucléides** artificiels émetteurs gamma recherchés sont le césium-137 (<sup>137</sup>Cs), le cobalt-60 (<sup>60</sup>Co) et l'américium-241 (<sup>241</sup>Am). Le potassium-40 (<sup>40</sup>K) et le plomb-210 (<sup>210</sup>Pb) sont des radionucléides naturels présents dans tous les produits biologiques. Des mesures longues, de plusieurs jours, permettent d'obtenir des limites de détection faibles. Les isotopes du plutonium (<sup>238</sup>Pu et <sup>239+240</sup>Pu) sont recherchés dans quelques échantillons sélectionnés du fait de la masse importante nécessaire à la réalisation d'une analyse.

L'analyse des 7 métaux lourds a montré que les teneurs étaient du même ordre de grandeur pour les échantillons « témoins » avant transplantation que pour les 3 expérimentations successives (figure 21) :

- **Le Cd** est toujours présent dans la chair des huîtres à des teneurs allant de 2,89 mg/kg p.s. (BP T4 2012) à 7,50 (T0 2013-2). A Phaéton, les teneurs en Cd diminuent nettement dans les individus transplantés ce qui montre que l'huître élimine une partie de ce métal de son organisme.

- Les teneurs en **Hg** ne permettent pas de démontrer une réelle accumulation dans les huîtres, seuls les résultats du 2<sup>nd</sup> semestre 2013 à Rangiroa montrent une légère tendance à l'augmentation de la concentration.
- De même pour le **Pb**, les teneurs sont très faibles, voire inférieures à la limite de détection (< 0,1 mg/kg p.s.) dans tous les échantillons mesurés. Seuls les résultats de Moorea en 2012 mettent en évidence une augmentation significative.
- Avec des valeurs mesurées de 2,6 à 4,5 mg/kg p.s. en **Cu** sur tous les échantillons, aucune accumulation ou élimination de ce métal n'est notable.
- Le **Cr** n'a pas du tout été décelé en 2012, alors qu'en 2013 une accumulation de l'ordre d'un facteur 2 a été relevée à Phaéton et à Moorea.
- En revanche, les huîtres sont de bons biointégrateurs du **Zn** et du **Fe**. Les teneurs mesurées en Zn montrent une accumulation à Moorea (jusqu'à 1630 mg/kg p.s.) et à Huahine alors que les teneurs diminuent légèrement à Rangiroa. Les teneurs en Fe sont quasiment multipliées par 3 après 4 mois d'immersion à Phaéton lors du dernier suivi. Elles sont quasiment multipliées par 7 après 4 mois d'immersion à Moorea lors du premier suivi alors qu'elles sont en même temps divisées par plus d'un facteur 3 après transplantation à Rangiroa.

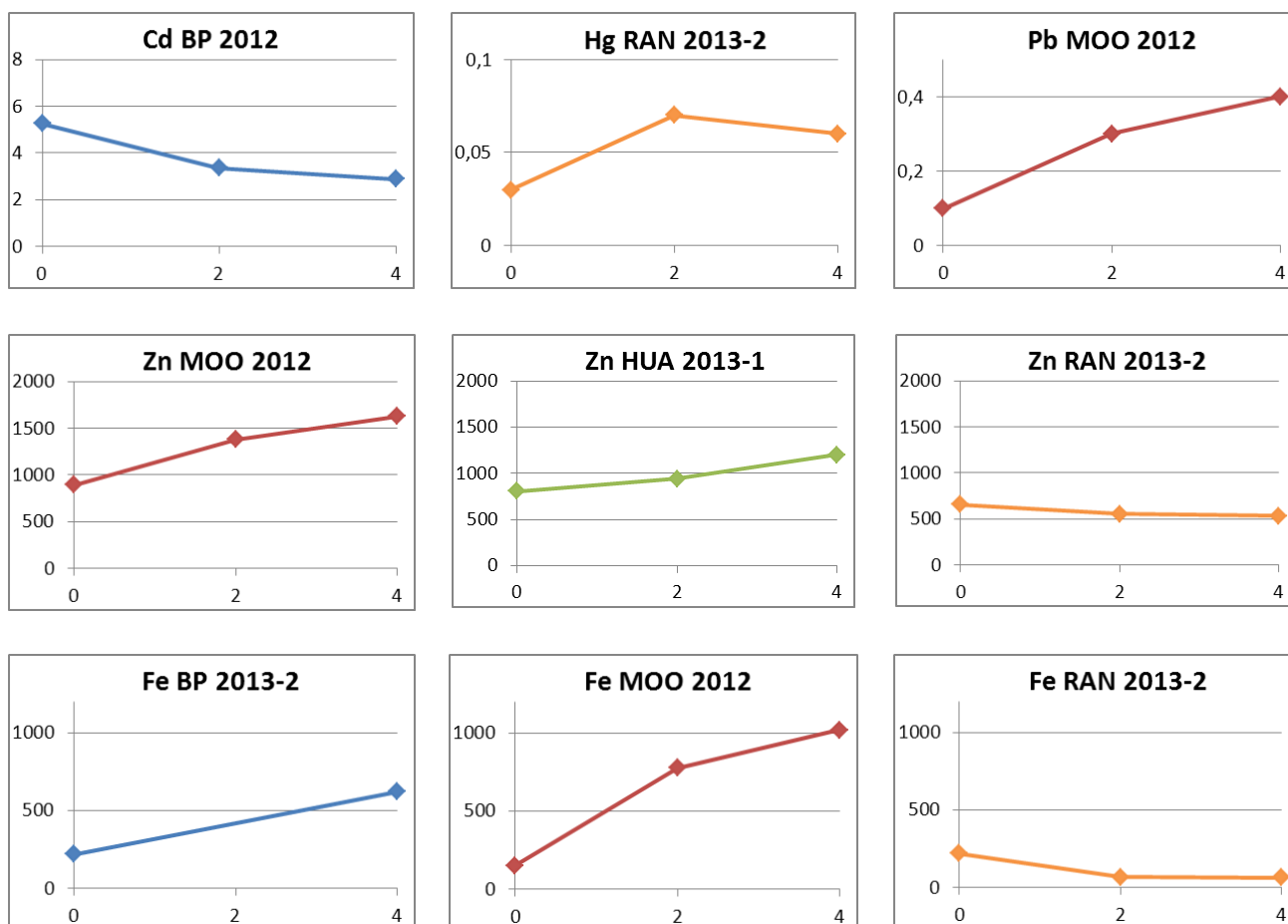


Figure 21 : Teneurs en métaux lourds en mg/kg p.s. dans les chairs des huîtres perlières après 2 et 4 mois d'immersion sur les sites étudiés en 2012, 2013-1<sup>er</sup> semestre et -2<sup>nd</sup> semestre 2013 à TO

Les valeurs en métaux lourds obtenues lors de cette étude en 2012 et 2013 peuvent être comparées (tableau 16) à des mesures effectuées dans le passé sur la même espèce [1 ; 10], ainsi que dans les chairs d'autres mollusques bivalves (pipis, bénitiers, moules).

Les teneurs sont du même ordre de grandeur que celles de 2010 dans les huîtres perlières. Comparées à d'autres espèces, on remarque que les teneurs en Cd et Zn sont assez élevées (moins cependant que dans les pipis) alors que celles en Hg et Pb sont plutôt faibles.

Tableau 16 : Comparaison des teneurs en métaux lourds

Nature des échantillons - Date et référence	Métaux lourds (mg/kg p.s.)					
	Cd min	Cd max	Hg min	Hg max	Pb min	Pb max
<b>Huîtres perlières 5 sites de PF - 2012-13</b>	<b>2,89</b>	<b>7,50</b>	<b>0,02</b>	<b>0,07</b>	<b>≤ 0,1</b>	<b>0,4</b>
Huîtres perlières 2 sites de PF - 2010 [1]	4,74	7,41	0,04	0,06	≤ 0,1	0,2
Huîtres perlières Takapoto - 1988 [10]	1,1	5,0	≤ 0,05	0,17	0,35	1,35
Pipis 2 sites de PF - 2010 [1]	32,7	72,2	0,04	0,09	≤ 0,1	0,4
Bénitiers in situ 5 sites de PF - 2010 [1]	0,42	1,36	0,02	0,35	≤ 0,1	2,4
Moules port de Papeete - 1987-1988 [10]	≤ 0,1	0,95	0,08	0,70	0,37	2,33
Moules Méditerranée - 2006 [11]	0,40	2,67	0,02	0,30	0,28	8,44

Nature des échantillons - Date et référence	Métaux lourds (mg/kg p.s.)							
	Zn min	Zn max	Cr min	Cr max	Fe min	Fe max	Cu min	Cu max
<b>Huîtres perlières 5 sites de PF - 2012-13</b>	<b>532</b>	<b>1630</b>	<b>≤ 0,1</b>	<b>2,6</b>	<b>65,6</b>	<b>1020</b>	<b>2,6</b>	<b>4,5</b>
Huîtres perlières 2 sites de PF - 2010 [1]	1920	2860	≤ 0,1	3,3	98,7	523	2,2	4,4
Huîtres perlières Takapoto - 1988 [10]	14,0	38,0	3,0	12,3	69	190	3,4	6,7
Pipis 2 sites de PF - 2010 [1]	1750	4120	1,1	2,3	193	449	3,4	11,6
Bénitiers in situ 5 sites de PF - 2010 [1]	5,8	27,3	0,5	2,1	21,1	374	0,7	2,6
Moules port de Papeete - 1987-1988 [10]	48	590	1,55	12,6	800	10750	4,37	38,6
Moules Méditerranée - 2006 [11]	57	229	0,1	1,7	nm	nm	2,4	7,7

L'analyse des **sédiments** a montré que le Cd n'est pas du tout présent, comme le Pb détecté uniquement à Moorea, et le Hg présent à Phaéton et Moorea à faibles concentrations. Le Cr, quant à lui, est mesuré dans les sédiments avec les teneurs les plus élevées à Phaéton et à Moorea. Les teneurs en Cu, Fe et Zn sont également plus élevées sur ces 2 sites alors qu'elles sont faibles à Maupiti et Rangiroa.

L'analyse des **composés organochlorés** a mis en évidence la présence d'acétochlore dans tous les échantillons mesurés sur la 1<sup>ère</sup> et la 3<sup>ème</sup> période expérimentale (max 82,9 µg/kg p.s. à BP T4 2012) et non sur la 2<sup>nde</sup> période avec une accumulation au cours du temps. D'autres composés (alachlore, propyzamide, procymidone) ont été détectés dans les chairs après 4 mois d'immersion des huîtres sur plusieurs sites.

Quelques PCB ont été détectés sur les différents sites durant les 3 périodes. L'isodrine a été accumulé dans les mollusques à Vairao, Maupiti et Rangiroa.

Cependant, d'une manière générale, très peu de composés ont été détectés au 1<sup>er</sup> semestre 2013 et à des teneurs très faibles.



La comparaison avec les résultats obtenus en 2010 montre que ce sont globalement les mêmes composés qui sont détectés le plus souvent dans la chair des huîtres perlières. La comparaison avec les moules de méditerranée n'est pas effectuée, le PCB 153 utilisé comme indicateur de ce groupe de contaminants n'étant pas détecté ici.

La mesure dans les **sédiments** a révélé la présence de PCB principalement avec plusieurs composés détectés à Vairao et à Phaéton. Seul pour ce dernier site d'autres composés ont été mesurés à de faibles teneurs.

L'analyse des **HAP** a permis de détecter des composés différents selon les 3 suivis réalisés dans le temps.

Le phénanthrène a été détecté sur tous les sites. Les mesures sont assez variables dans le temps, ces hydrocarbures étant rapidement accumulés et rejetés par les organismes. A 2 mois d'intervalle, les teneurs en HAP sont parfois très différentes : des composés sont détectés à T2 et ne le sont plus à T4.

Les teneurs ne sont toutefois jamais élevées comme elles ont pu l'être dans certains échantillons mesurés en 2010 [1] (exemple : tableau 17).

Tableau 17 : Comparaison des teneurs en fluoranthène

Nature des échantillons - Date et référence	Fluoranthène (µg/kg p.s.)	
	min	max
<b>Huîtres perlières 5 sites de PF - 2012-13</b>	<b>≤ 0,1</b>	<b>2,7</b>
Huîtres perlières 2 sites de PF - 2010	≤ 0,2	65,4
Pipis 2 sites de PF - 2010	30,4	142
Bénitiers in situ 5 sites de PF - 2010	1,7	14,3
Moules Méditerranée - 2006 [9]	0,50	12,3

L'analyse des **sédiments** montre que le phénanthrène mesuré dans toutes les huîtres est également présent dans les sédiments, sauf sur le site de Phaéton. C'est dans le prélèvement de Vairao, en 2012, que la majorité des composés ont été mesurés avec des teneurs allant jusqu'à 6,2 µg/kg p.s. (benzo (b) fluoranthène). A l'inverse des métaux lourds, la mesure des HAP sur les 2 séries en 2012 et 2013 donne des résultats différents à Vairao et Phaéton.

Les mesures de **radioactivité γ** dans les chairs d'huîtres perlières ont montré qu'aucun radionucléide d'origine artificielle n'a été détecté sur les 3 suivis réalisés. Les limites de détection en <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co et <sup>241</sup>Am sont inférieures à 0,2 Bq.kg<sup>-1</sup> frais (à l'exception de deux limites de détection pour <sup>241</sup>Am à 0,23 et 0,31 Bq.kg<sup>-1</sup> frais). Le <sup>40</sup>K, d'origine naturelle, a des teneurs stables sur tous les échantillons avec une moyenne de 62 ± 9 Bq.kg<sup>-1</sup> frais. L'activité en <sup>210</sup>Pb est un peu inférieure dans les chairs d'huîtres perlières immergées en baie de Phaéton que celles d'autres sites.

Les mesures de **radioactivité alpha (Pu)** dans les chairs ont montré des activités faibles à Vairao, Phaéton, Maupiti et Rangiroa.

Les activités gamma et alpha obtenues lors de cette étude sont comparées (tableau 18) aux mesures effectuées dans le passé sur la même espèce et sur d'autres mollusques bivalves.

Les mollusques ne sont en général pas les meilleurs biointégrateurs du  $^{137}\text{Cs}$ , celui-ci se retrouvant principalement dans les muscles mais ce sont les seuls produits marins où l'on était capable de détecter le  $^{60}\text{Co}$  il y a quelques années [13].

Pour la mesure du plutonium, les huîtres perlières (comme le bénitier) sont de bons bio accumulateurs.

Tableau 18 : Comparaison des activités gamma et alpha

Nature des échantillons - Date et référence	Activités gamma (Bq/kg p.f.)				Activités alpha (mBq/kg p.f.)			
	$^{137}\text{Cs}$ min	$^{137}\text{Cs}$ max	$^{60}\text{Co}$ min	$^{60}\text{Co}$ max	$^{238}\text{Pu}$ min	$^{238}\text{Pu}$ max	$^{239+240}\text{Pu}$ min	$^{239+240}\text{Pu}$ max
<b>Huîtres perlières 5 sites de PF - 2012-13</b>	≤ 0,03	≤ 0,14	≤ 0,03	≤ 0,16	0,04	0,16	0,51	1,07
Huîtres perlières 2 sites de PF - 2010 [1]	≤ 0,05	≤ 0,23	≤ 0,07	≤ 0,24	0,11	0,24	1,27	1,46
Huîtres perlières Mangareva - 2001-10 suivi LESE	0,015	≤ 0,30	≤ 0,03	≤ 0,40	nm		nm	
Pipis 2 sites de PF - 2010 [1]	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,07	≤ 0,28	0,13		0,62	
Bénitiers in situ 5 sites de PF - 2010 [1]	0,008	≤ 0,30	≤ 0,01	≤ 0,04	0,032	0,15	0,027	1,44
Mollusques 5 sites Atlantique-Manche - 2009 [12]	≤ 0,02	0,07	≤ 0,03	≤ 0,40	≤ 1	7	≤ 2	19

Lors des prélèvements de **sédiments**, le  $^{137}\text{Cs}$  a été détecté à Moorea et à Phaéton (0,48 Bq.kg<sup>-1</sup> sec, BP 2013-2). Sur ces 2 sites, les teneurs en  $^{40}\text{K}$  (100 Bq.kg<sup>-1</sup> sec) et  $^{210}\text{Pb}$  (200 Bq.kg<sup>-1</sup> sec) sont fortes comparées aux autres sites. Cela s'explique par la nature différente des sédiments avec des taux de matière organique plus importants.

## 2.5.2 DISCUSSION SUR LE SUIVI DU MILIEU

Le suivi du milieu de chacun des sites ne laisse apparaître aucun résultat problématique en termes de pollution, néanmoins les analyses diverses ont pu mettre en évidence une variabilité importante de certains paramètres (principalement hydrologiques) tandis que d'autres paramètres (principalement sédimentologiques et biologiques) sont caractéristiques d'un site et très peu variables dans le temps.

Les paramètres hydrologiques liés à la colonne d'eau sont principalement influencés par les conditions météorologiques et par la localisation du site par rapport à l'influence de la côte. En effet, les analyses hydrologiques ont permis de mettre en relation la plupart des résultats avec les phénomènes climatiques et la localisation des sites suivant leurs interactions avec la côte et activités associées. Les analyses sédimentologiques ont permis de faire la différence entre les sites exposés à une sédimentation d'origine terrigène (Phaéton et Moorea) et les sites soumis à une sédimentation d'origine biogène (Vairao, Huahine, Maupiti et Rangiroa) par des remises en suspension.

Les risques de pollution seront donc d'autant plus élevés sur les sites les plus exposés aux influences terrestres et plus prononcés en fonction des activités côtières environnantes. Les observations biologiques semblent aussi supporter les résultats physico-chimiques puisque les peuplements de la faune et de la flore marine seront plus importants, en termes de diversité et d'abondance, dans les sites sujets à une influence terrestre moindre. Les résultats nous permettent de conclure que, dans un premier temps, les sites situés dans les lagons d'une île haute auront un potentiel de dégradation plus important qu'un site localisé dans un lagon d'un atoll. Dans un deuxième temps, la géomorphologie de la côte (présence de rivière, taille du bassin versant), le type d'activité côtière (urbanisation, agriculture, centre d'enfouissement, trafic maritime) et l'hydrodynamisme du site sont autant de paramètres qui auront une grande influence sur la qualité de l'eau.

Bien qu'aucune pollution particulière n'ait été détectée sur les six sites suivis, les différentes analyses nous permettent de classer les sites sur un gradient d'impact de l'activité humaine (du site le plus « impacté » au moins « impacté ») dans l'ordre suivant : Baie de Phaéton, Vaiare, Vairao, Huahine, Maupiti et Rangiroa.

### **Baie de Phaéton**

Le site de Phaéton à Tahiti, situé à l'entrée de la baie de Phaéton, est le site le plus « impacté » d'après les critères de suivi environnementaux présentés dans ce rapport. Il n'est pas étonnant de retrouver Phaéton comme étant le site le plus « impacté » puisque cette baie est située en aval d'un grand bassin versant dans laquelle quatre rivières se jettent. Le littoral de la baie a subi ces dernières années une urbanisation croissante avec la construction d'une marina, d'habitations et de commerces. Au cours du suivi, l'influence terrestre se traduit par des apports d'eau douce révélée par des baisses régulières de la salinité. Le site de Phaéton présente aussi le plus haut taux de silicate, témoin d'apport terrigène et confirmé par les analyses sédimentologiques. Occasionnellement une charge bactérienne importante en *E. coli* et les plus hauts taux de nutriment ( $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3$ ) ont été observés sur ce site. Un tel environnement semble peu propice à l'épanouissement de la faune benthique. Nos observations ont révélé que Phaéton est, avec Moorea et Vairao, l'un des sites les plus pauvres en biodiversité.

### **Moorea**

Le site de Moorea est classé comme le second site le plus « impacté ». Comme Phaéton, le site de Moorea est très peu diversifié en termes de faune et de flore marine et il en ressort que le taux de MES et la concentration en nitrite du site sont les plus importants des six sites suivis. La baie de Vaiare à Moorea est aussi assujettie à des apports d'eau douce plus ou moins importants, comme l'indiquent les fortes variations de salinité, et soumise à des apports terrigènes réguliers (origine terrigène des sédiments). Cette baie est soumise à de nombreuses activités côtières avec le passage des ferrys et des bateaux de la marina. Moorea est la deuxième plus grande île du suivi pour laquelle les pressions anthropiques sont croissantes avec un potentiel de lessivage des sols et une activité agricole importante.

### **Vairao**

Le site de Vairao à Tahiti est le troisième site le plus « impacté », il est cependant similaire aux sites de Huahine et de Maupiti qui ont, malgré tout, chacun leur spécificité. Le site de Vairao est le plus éloigné du littoral (700 m) et le plus profond (30 m) des six sites. Bien qu'aucun des paramètres environnementaux ne révèle de pollution particulière, la matière en suspension, les charges bactériologiques et le nitrite sont supérieurs et la salinité inférieure aux sites de Huahine, Maupiti et Rangiroa. Globalement le site de Vairao est doté d'une qualité d'eau relativement bonne avec des influences côtières notables lors d'évènements météorologiques importants. La taille du lagon associé, l'éloignement de la côte et la profondeur du site sont autant d'attributs avantageux pour maintenir une eau majoritairement de bonne qualité.

### **Huahine**

Considéré comme le quatrième site le plus « impacté », l'influence anthropique y est néanmoins, comme à Maupiti, minime. L'ensemble des analyses indique que ces deux sites sont relativement similaires, bien que le site de Huahine en baie de Faie se distingue par le taux de sédimentation le plus important des six sites et possède des taux de nitrate et de silicate supérieurs aux autres sites mais tout de même bien inférieurs aux valeurs mesurées à Phaéton. Enfin celui-ci est le site le plus rapproché d'une passe (moins d'un kilomètre) et n'est pas enclavé en fond de baie, ce qui lui confère un hydrodynamisme relativement important comme en témoigne le profil granulométrique du site. La présence d'une passe à proximité d'un site est un avantage certain puisque celle-ci permet une dilution des eaux lagunaires dans l'océan ainsi que leur renouvellement, essentiels au maintien d'une eau de bonne qualité.

## **Maupiti**

Maupiti est l'île haute la moins « impactée » des quatre îles hautes suivies. Certains paramètres indiquent que le site est proche de la côte (profil granulométrique équivalent à Phaéton, taux de sédimentation important), pourtant la qualité de l'eau (nutriments, bactériologie, MES) est équivalente au site de Rangiroa. En outre, le faible taux de silicate mesuré sur ce site indique un apport terrigène faible, probablement lié à un faible lessivage des sols limité par la taille de l'île qui se trouve être la plus petite des îles hautes étudiées. De plus, Maupiti subit une faible pression anthropique. Le site présente cependant la concentration en chlorophylle totale la plus importante ainsi qu'un taux de phosphate supérieur aux autres sites. La turbidité régulière du site de Maupiti et le taux de chlorophylle mesuré indiqueraient que le lagon de Maupiti est propice au développement phytoplanctonique favorisé par le confinement du lagon (une seule passe pour toute l'île) et la concentration en phosphate relativement importante, dont l'origine (naturelle ou anthropique) n'a pu être déterminée.

## **Rangiroa**

Le site de Rangiroa est de loin le site le moins « impacté ». Situé sur un atoll, l'influence côtière y est minimale. Les échanges avec la masse d'eau océanique procurent au lagon de Rangiroa une qualité d'eau optimale associée à un peuplement ichthyologique plus riche et plus abondant que sur tous les autres sites. On notera toutefois une concentration en phosphate légèrement plus importante que sur la plupart des autres sites et un taux de chlorophylle supérieur à Moorea, Vairao et Huahine. Des teneurs importantes en phosphate ont déjà été mesurées dans les nappes phréatiques et couches d'eaux saumâtres de Rangiroa dont l'origine semble naturelle. Dans un atoll, les propriétés physico-chimiques de la colonne d'eau peuvent être modifiées par des épisodes de haute énergie (coups de vent, tempêtes, forte houles) qui auront tendances à brasser le milieu.

## 3 EXPERIENCES EN LABORATOIRE

### 3.1 MATERIEL ET METHODE

Trois expériences de contamination des huîtres perlières par certains métaux lourds ont été réalisées en laboratoire dans des conditions contrôlées.

Les huîtres ont été mises en bassin contenant différents niveaux de concentration de métaux durant plusieurs semaines. Des prélèvements réguliers ont été réalisés pour mesurer par absorption atomique la concentration de ces métaux dans les chairs des mollusques et dans les byssus (ensemble de fibres permettant d'adhérer au substrat) lors de la 3<sup>ème</sup> expérience uniquement.

#### 3.1.1 PREMIERE EXPERIMENTATION

Une première phase de tests préliminaires à la mise en place du protocole de contamination dans les bacs a été nécessaire [5, 6].

- la dissolution des métaux ne peut pas être effectuée en milieu acide pour la bonne santé des huîtres perlières. Elle a été réalisée avec des sels de métaux dissous dans l'eau de mer, puis filtrée afin de disposer d'une solution contaminante au pH de l'eau de mer et dépourvue de particules métalliques solides. Après mélange et vérification de la stabilité des concentrations dans le temps, 2 métaux, le cadmium et le chrome, sont retenus pour l'expérimentation.
- la mise en solution de la chair des huîtres a été validée. Après lyophilisation et broyage, la chair sèche est calcinée pour une meilleure attaque par un mélange d'acide nitrique et chlorhydrique à 5 % à chaud.
- l'analyse du Cd et du Cr par spectrométrie d'absorption atomique (SAA, figure 22) a été validée par la mesure de solutions de référence.



Figure 22 : Spectromètre d'absorption atomique

Une période d'acclimatation d'une semaine des huîtres *P. margaritifera* provenant de Takaroa a été respectée dans les bacs expérimentaux (figure 23). Les 100 L d'eau de mer des 11 bacs sont renouvelés quotidiennement et un mélange d'algues à 10 000 cellules/ml/bac est injecté simultanément.



Figure 23 : Bacs expérimentaux pour l'étude en milieu contrôlé

Trois niveaux de concentrations de l'eau de mer dans les bacs sont appliqués en Cd et en Cr : 1, 10 et 50 µg/L. Deux bacs sont réservés aux échantillons « témoins », l'eau de mer n'étant pas contaminée et un triplicat de 15 huîtres par bassin a été retenu pour chaque concentration.

Des prélèvements d'huîtres perlières ont été réalisés avant contamination à T0 (témoin) puis après 1, 4 et 7 jours de contamination (T1, T4 et T7). A chaque prélèvement, 3 individus témoins ainsi que 3 individus de chacun des niveaux (1 huître par bassin) sont analysés.

L'expérience de contamination a dû être interrompue le 10<sup>ème</sup> jour suite à des problèmes techniques du réseau de distribution de l'eau de mer.

Les 900 L d'eau contaminée par les métaux sont transférés et dilués quotidiennement dans une cuve de 7 000 L afin de répondre aux normes de rejet dans le milieu naturel.

### 3.1.2 SECONDE EXPERIMENTATION

Suite à cette première expérimentation, une étude sur une période plus longue a été initiée avec pour objectif de suivre également la phase de décontamination au cours du temps. Le protocole expérimental est basé sur celui de la 1<sup>ère</sup> étude [6].

Les huîtres perlières sont issues du même lot en provenance de Takarua et ont été acclimatées une semaine en bac au laboratoire. Les métaux injectés dans les bacs d'eau de mer sont le cadmium et le chrome à des teneurs de 1, 5 et 10 µg/L, un peu inférieures à celles de la 1<sup>ère</sup> série au vu de la mortalité constatée.

Trois bacs sont utilisés pour chaque niveau de concentration en métaux (analyse en triplicat) et les huîtres perlières témoins sont disposées dans 2 bacs. Le remplissage de 100 L d'eau du lagon enrichi en algues est renouvelé quotidiennement. L'eau est oxygénée par bullage et une lumière artificielle est maintenue pendant la journée.

Les teneurs réelles mesurées dans l'eau des bacs contaminés sont les suivantes :

- N1 : [Cd] =  $1,02 \pm 0,001$  µg/L et [Cr] =  $1,15 \pm 0,13$  µg/L
- N2 : [Cd] =  $5,12 \pm 0,04$  µg/L et [Cr] =  $5,76 \pm 0,64$  µg/L
- N3 : [Cd] =  $10,22 \pm 0,11$  µg/L et [Cr] =  $11,47 \pm 1,64$  µg/L

Le pH et la température sont suivis au cours du temps avec une mesure tous les 2 jours pendant la 1<sup>ère</sup> semaine d'expérimentation. Ces 2 paramètres restent stables avec un pH moyen de  $8,24 \pm 0,02$  et une température moyenne de  $27,4 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ .

### 3.1.3 TROISIEME EXPERIMENTATION

Pour l'expérience 3, la contamination a lieu uniquement avec le Cd à  $5\mu\text{g/L}$  [7].

L'étude est réalisée sur 110 huîtres perlières, réparties sur 4 bacs dédiés à la contamination et sur 3 bacs témoins qui servent de réserve pour compléter la diminution du nombre de mollusques au cours du temps. Les huîtres perlières proviennent des filières Ifremer de Vairao.

Les byssus sont prélevés et analysés séparément de la chair, lorsque les huîtres perlières sont sacrifiées, afin de vérifier s'ils sont aptes à l'accumulation du Cd.

Le protocole a été établi pour offrir une quantité de Cd biodisponible de  $50\mu\text{g/jour}$  à chaque individu.

## 3.2 RESULTATS DES EXPERIENCES EN LABORATOIRE

### 3.2.1 PREMIERE EXPERIMENTATION

Tous les résultats de cette première expérimentation sont détaillés dans le rapport [6].

La mortalité des huîtres perlières est suivie par niveau de concentration (figure 24). Après 5 jours de contamination, la mortalité la plus rapide est constatée dans les bassins où la concentration en Cd et Cr est la plus forte, montrant la toxicité de ces métaux.

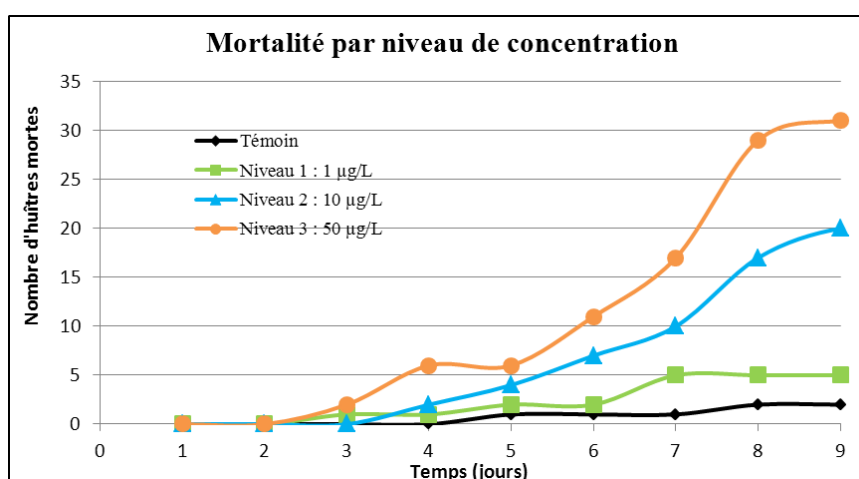


Figure 24 : Mortalité des huîtres en fonction du niveau de concentration des 2 métaux Cd et Cr

Les teneurs moyennes en Cd et Cr mesurées dans les chairs d'huîtres perlières contaminées sont présentées sur la figure 25. La concentration moyenne du Cd augmente en fonction du temps pour les 3 niveaux de concentrations testés et est d'autant plus forte que la concentration dans le milieu est élevée. Ces résultats sont cohérents avec la mortalité observée.



Les évolutions dans le temps des teneurs en Cr et en Cd dans les huîtres perlières sont différentes. Alors que le Cd s'accumule pour les 3 niveaux de contamination testés, l'effet est marqué dans le cas du Cr uniquement pour le niveau de contamination le plus fort (50 µg/L) et bien plus faiblement que le Cd à concentration égale dans le milieu.

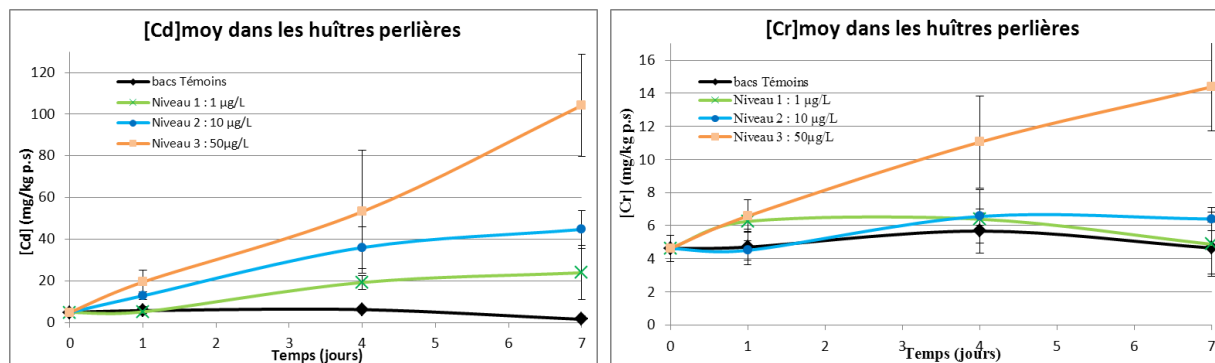


Figure 25 : Teneurs moyennes en Cd et Cr dans les chairs d'huîtres témoins et des 3 niveaux de contamination

L'écart type des mesures réalisées sur 3 huîtres perlières est important, ce qui indique une grande variabilité entre les individus.

### 3.2.2 SECONDE EXPERIMENTATION

Suite à une mortalité trop rapide des huîtres perlières *P. margaritifera* au plus fort niveau de concentration (N3) de 10 µg/L en Cd et Cr (figure 26), l'expérience de contamination a dû être arrêtée au bout de 8 jours. Les huîtres perlières ont alors été immergées dans de l'eau de mer sans ajout de métaux à partir de T8 et seuls 2 prélèvements ont ensuite pu être effectués à T9 et T11.

Pour les concentrations de 1 et 5 µg/L en Cd et Cr (respectivement N1 et N2), la phase de contamination a duré 17 jours puis les ajouts de métaux ont été stoppés afin de suivre une éventuelle décontamination dans les chairs des huîtres perlières.

La mortalité (figure 26) pour le niveau N1 a été très rapide à partir du 12<sup>ème</sup> jour et jusqu'à la fin de la contamination en métaux, même si les individus morts ont été retirés des bacs le plus rapidement possible afin d'éviter une mortalité généralisée. Le dernier prélèvement pour analyse a eu lieu à T25. Une bonne survie des huîtres perlières a été constatée pour le niveau N2 à 5µg/L ce qui a permis de continuer les prélèvements jusqu'au 49<sup>ème</sup> jour d'expérimentation.

L'ensemble des résultats est donné en annexe 8.

Les mesures de chrome dans la chair des huîtres perlières immergées dans les bacs à des niveaux de concentrations 1 et 5 µg/L ne montrent pas d'augmentation significative sur toute la période de contamination. Les mesures de décontamination ont donc été suspendues.

Pour le niveau le plus élevé (N3) à 10 µg/L (figure 27), la teneur dans les huîtres perlières augmente après 7 jours d'immersion dans les bacs (fin de la contamination) puis diminue jusqu'à atteindre le même niveau que les individus témoins après un retour en eau de mer sans ajout de 4 jours. Les résultats avec les niveaux de concentration inférieurs, 1 et 5 µg/L ne se différencient pas des résultats des témoins.

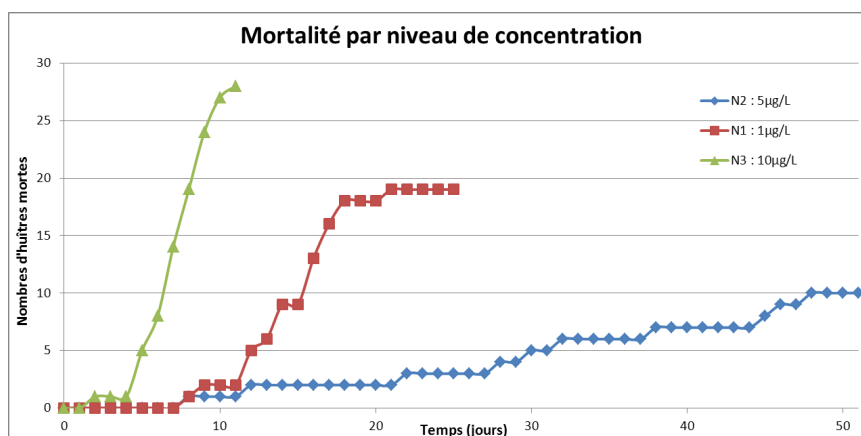


Figure 26 : Mortalité des huîtres en fonction du niveau de concentration des 2 métaux Cd et Cr.

L'ensemble des résultats est donné en annexe 8.

Les mesures de chrome dans la chair des huîtres perlières immergées dans les bacs à des niveaux de concentrations 1 et 5 µg/L ne montrent pas d'augmentation significative sur toute la période de contamination. Les mesures de décontamination ont donc été suspendues.

Pour le niveau le plus élevé (N3) à 10 µg/L (figure 27), la teneur dans les chairs augmente après 7 jours d'immersion dans les bacs (fin de la contamination) puis diminue jusqu'à atteindre le même niveau que les individus témoins après un retour en eau de mer sans ajout de la solution contaminante durant quatre jours. Les résultats avec les niveaux de concentration inférieurs, 1 et 5 µg/L ne se différencient pas des résultats des témoins.

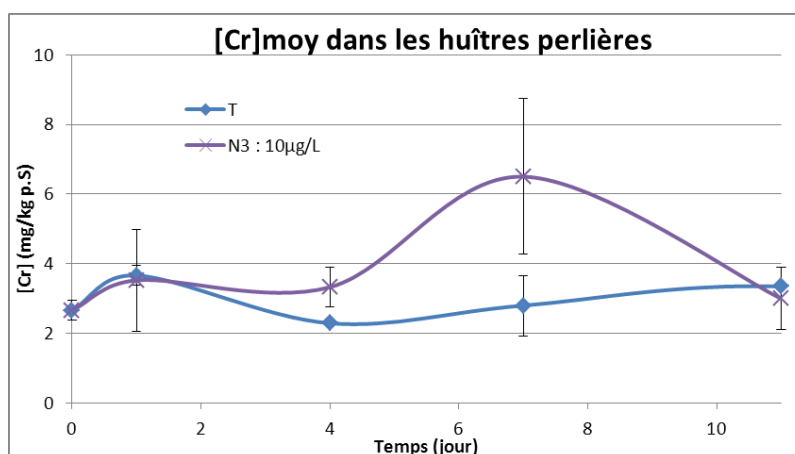


Figure 27 : Teneurs moyennes en Cr dans les chairs d'huîtres témoins et de niveau de contamination le plus élevé à 10 µg/L.

Les teneurs moyennes en cadmium suivent le même profil de contamination que lors de la 1<sup>ère</sup> expérience sur une période de 7 jours (figure 28) et les teneurs mesurées dans les individus témoins sont stables sur toute la durée de l'étude.

Pour le niveau de contamination N2 de 5 µg/L, les teneurs mesurées dans la chair des huîtres perlières atteignent environ 100 mg/kg p.s. après 12 jours de contamination et ces valeurs sont conservées dans les chairs au cours du temps même après arrêt d'ajout de métaux dans le milieu.

Les résultats pour les niveaux de contaminations N1 et N3 suivent le même profil avec une augmentation des teneurs au cours du temps lors de la phase de contamination puis une stabilisation de ces teneurs. Il faut noter que les écarts types sont importants pour des mesures sur 3 individus prélevés, ce qui indique une forte variabilité d'un individu à l'autre.

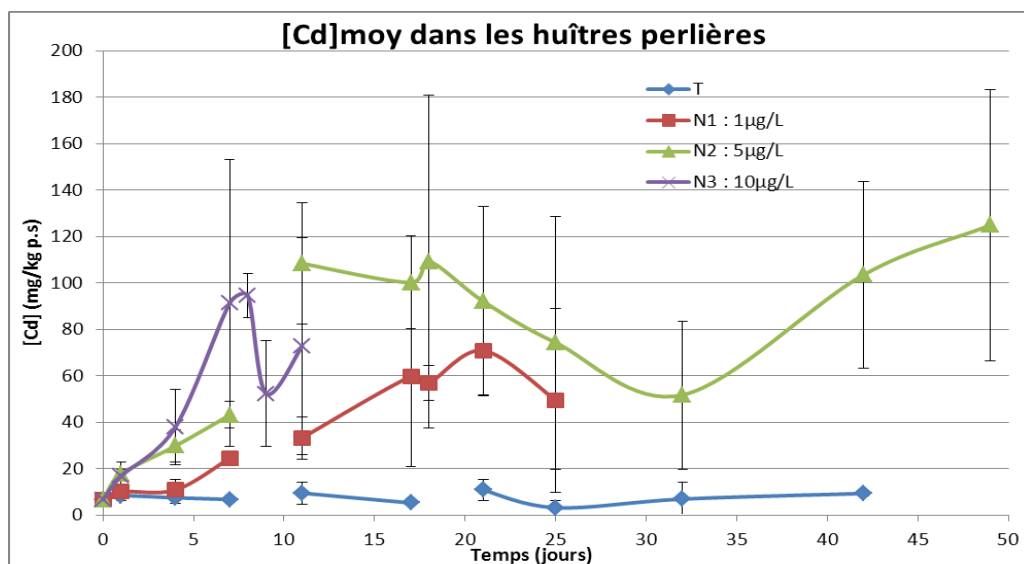


Figure 28 : Teneurs moyennes en Cd dans les chairs d'huîtres témoins et des 3 niveaux de contamination

### 3.2.3 TROISIEME EXPERIMENTATION

Tous les résultats de cette expérimentation sont détaillés dans le rapport [7].

Une forte mortalité a été constatée (figure 29) lors de cette étude avec notamment un pic de mortalité vers le 7<sup>ème</sup> jour de contamination à priori dû à un empoisonnement du milieu par des individus en décomposition dans les bacs. Au total, ce sont 77 individus (sur 110) qui sont morts avant prélèvement et analyse.

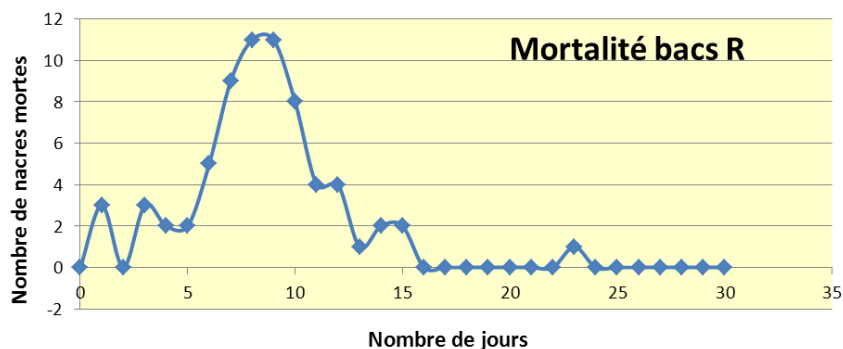


Figure 29 : Mortalité journalière des huîtres perlières

La concentration en Cd dans la chair des mollusques témoins est stable avec une valeur moyenne de  $5,7 \pm 0,8$  mg/kg sec, identique aux valeurs observées lors des expériences précédentes et dans les huîtres perlières prélevées *in situ* [1], même si une diminution du poids frais et du poids sec est observée.

Durant la phase de contamination, 5 prélèvements ont été réalisés (T1, T3, T6, T10, T16). Du fait de la mortalité élevée, le quota minimum de 10 individus par bac n'a pas pu être maintenu durant toute la phase de contamination, ce qui entraîne une différenciation en 2 séries, les huîtres perlières ayant eu 50 µg de Cd/jr sur la durée de la phase de contamination et celles ayant eu plus de 50 µg quelques jours après le début de l'expérience.

Durant la phase de décontamination initiée après 16 jours de contamination, 4 prélèvements (5 individus) ont été réalisés (D1, D3, D7 et D14), le peu d'huîtres perlières restantes n'ayant pas permis de multiplier les échantillons.

La figure 30 présente l'ensemble des résultats (chair et byssus) en phase de contamination en Cd et en décontamination pour les nacres prélevées vivantes. Les droites de tendance sont tracées pour chair et byssus en phase de contamination en condition de disponibilité de Cd constante à 50 µg/nacre/jour. Les résultats des nacres en phase de contamination (N60, N91 et N93) et des nacres en phase de décontamination (N94, N95, N97, N98 et N99) sont obtenus pour des nacres qui ont eu des quantités de Cd disponibles supérieures à 50 µg/nacre/jour.

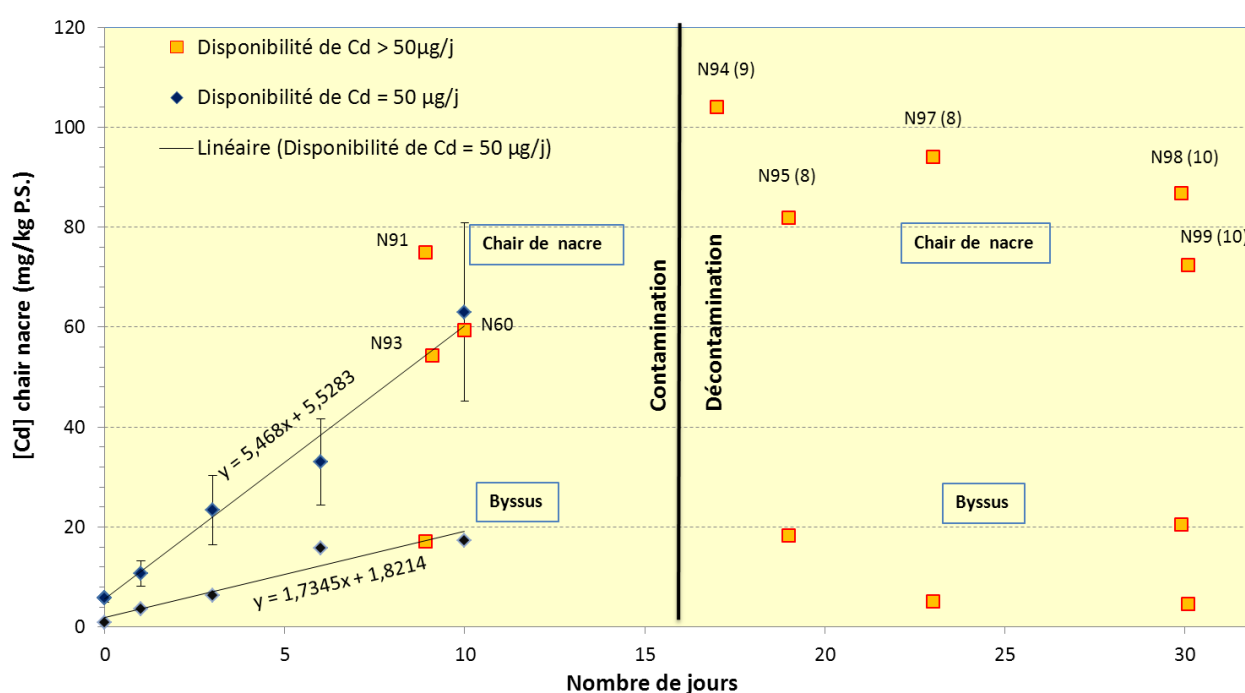


Figure 30 : [Cd] (mg/kg P.S.) dans la chair des nacres et des byssus prélevées durant les phases de contamination et de décontamination

Ces résultats montrent que dans les conditions expérimentales appliquées, les nacres intègrent environ 5,5 mg/kg P.S. de Cd par jour. Cette valeur est d'environ 1,7 mg/kg P.S. pour les byssus. Lorsque les nacres contaminées sont ensuite placées dans un milieu non contaminé, elles conservent la même concentration dans le temps.

### 3.3 DISCUSSION ET COMPARAISONS DES EXPERIENCES EN LABORATOIRE

Trois expériences de contamination des huîtres perlières par le cadmium et le chrome ont été réalisées en laboratoire dans des conditions contrôlées.

Les mesures des teneurs en Cd dans les échantillons témoins sont stables dans le temps comme le montre les figures 25 et 28 pour les expérimentations 1 et 2 respectivement. Les moyennes mesurées lors des 3 expérimentations (tableau 19) sont du même ordre de grandeur, et également du même ordre de grandeur que celles mesurées sur les échantillons issus des expérimentations in situ, c'est-à-dire de l'ordre de 5 à 8 mg/kg p.s.

Tableau 19 : Moyennes des teneurs en Cd (mg/kg p.s.) pour les huîtres perlières témoins des 3 expérimentations en laboratoire (E1, E2 et E3) et pour les prélèvements in situ

	Nb mesures	[Cd]moy (mg/kg p.s.)	±
E1	10	7,2	4,1
E2	31	8,2	3,0
E3	9	5,7	0,8
<i>in situ</i>	24	5,4	1,4

De plus, la comparaison entre les teneurs en Cd des 7 premiers jours de contamination à différents niveaux pour les 3 expérimentations (figure 31) permet de valider ces données. En effet, les courbes suivent le même profil d'accumulation au cours du temps et par niveau de concentration (1, 5 et 10 µg/L). Les expériences de contamination en bacs contrôlés sont reproductibles.

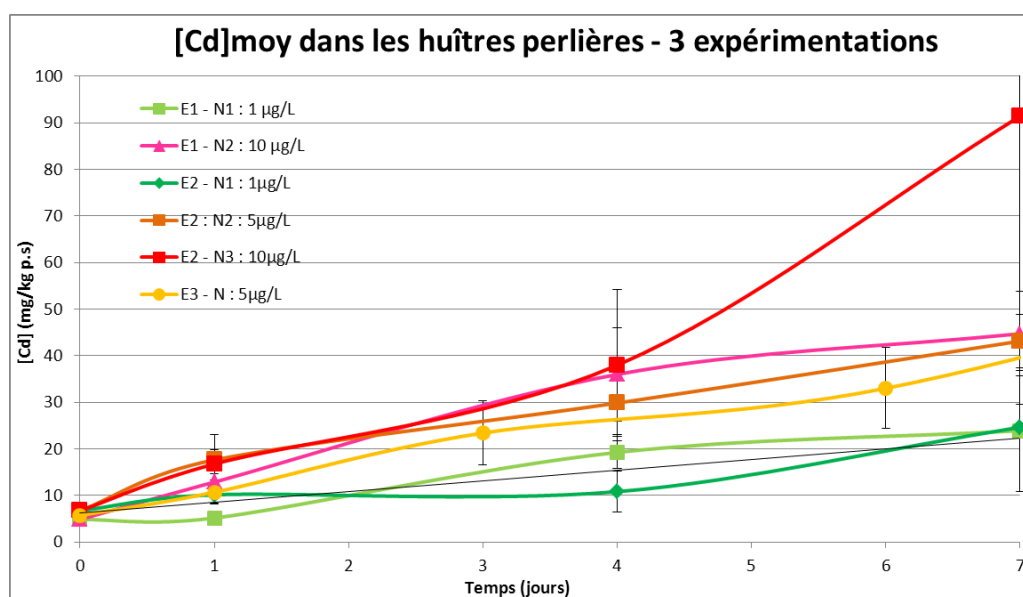


Figure 31 : Moyennes des teneurs en Cd (mg/kg p.s.) pour les huîtres perlières des 3 expérimentations en laboratoire (E1, E2 et E3) à différents niveaux de concentration

Pour le cas du chrome, l'accumulation de ce métal dans les chairs n'est marquée que pour des teneurs élevées dans le milieu (> 10µg/L), indiquant que les huîtres perlières régulent le Cr jusqu'à un certain niveau de concentration.

Ces expérimentations en laboratoire ont donc permis de mettre en évidence le phénomène d'accumulation de ces métaux lourds dans la chair des huîtres perlières. Plus la concentration du contaminant est élevée dans le milieu, plus les mollusques présentent des teneurs importantes dans leurs chairs. De plus, ces teneurs augmentent rapidement au cours du temps lorsque le milieu est contaminé, notamment pour le cadmium. Les individus ensuite immergés dans un milieu sans ajout de métaux présentent toujours des teneurs importantes, largement supérieures aux valeurs témoins, ce qui montre que la signature de la contamination en Cd est conservée dans les chairs des huîtres perlières. Ce phénomène n'a pas été démontré pour le cas du Cr.

Les concentrations imposées sur ces expérimentations en laboratoire (1 à 50 µg/L en Cd et Cr) sont largement supérieures à celles présentes dans le milieu naturel. Il est difficile d'en déduire directement un facteur de concentration entre le milieu naturel et les mollusques bivalves transplantés. Lors des expérimentations en laboratoire contrôlé, plusieurs huîtres perlières étaient immergées ensemble, une dégradation de l'une d'entre elles entraînant rapidement un empoisonnement du milieu et un mauvais état de tous les individus présents dans le bac. La masse de chair de tous les individus a largement baissé au cours des expérimentations montrant que les mollusques étaient dans un état physiologique dégradé, ce qui a pu modifier leur processus de filtration de l'eau.

## 4 CONCLUSION, PERSPECTIVES

Cette étude financée par le contrat de projet Etat - Pays visant à la mise en place d'un réseau d'observation de la qualité des eaux lagunaires de Polynésie française via un mollusque bioindicateur a été conduite de mi 2012 à mi 2014 (tableau 20).

Des lots d'huître perlière *Pinctada margaritifera* ont été transplantés sur plusieurs sites de Polynésie française pour l'étude *in situ* : Vairao et baie de Phaéton à Tahiti, baie de Vaiare à Moorea, un site sur les îles de Huahine et Maupiti (îles sous le vent) ainsi qu'un site sur l'atoll de Rangiroa (Tuamotu).

Les mollusques bivalves ont été immergés 4 mois dans des paniers sur sites lors de trois suivis réalisés en 2012, au premier et second trimestre 2013.

Les contaminants chimiques (7 métaux lourds, pesticides organochlorés, hydrocarbures aromatiques polycycliques) et radiologiques (gamma et alpha) ont été mesurés dans les chairs des huîtres perlières après 2 et 4 mois d'immersion et des sédiments ont été collectés en fin d'expérimentation. Les paramètres physico-chimiques et biologiques du milieu ont été relevés simultanément.

Tableau 20 : Différentes étapes du projet dans le temps

	2 <sup>e</sup> sem 2012	1 <sup>er</sup> sem 2013-1	2 <sup>e</sup> sem 2013-2	1 <sup>er</sup> sem 2014
Choix des sites	Choix des sites 2012 et 2013-1	Choix des sites 2013-2		
Mise en place des stations	Vairao Baie Phaéton Moorea	Vairao Baie Phaéton Moorea Huahine	Vairao Baie Phaéton Huahine Maupiti Rangiroa	
Prélèvements	Huîtres T0, T2, T4 3 Sédiments Colonne d'eau	Huîtres T0, T2, T4 Colonne d'eau	Huîtres T0, T2, T4 4 Sédiments Colonne d'eau	
Analyses chimiques et radiologiques		7 Ech 2012 + 3 sedt Chimie + Gamma	10 Ech 2013-1 Chimie + Gamma 2 Ech Pu	7 Ech 2013-2 + 4 sedt Chimie + Gamma 2 Ech Pu
Mesures physico-chimiques		Ech 2012 : Hydrologie Sédimentologie Peuplement	Ech 2013-1 : Hydrologie Sédimentologie Peuplement	Ech 2013-2 : Hydrologie Sédimentologie Peuplement
Expériences en laboratoire contrôlé		Exp 1 : 3 niveaux contamination [Cd] et [Cr]	Exp 2 : 3 niveaux [Cd] et [Cr] + décontamination Exp 3 : [Cd] + mesure byssus	
Rapport	Rapport d'étape 1	Rapport d'étape 2		Rapport final

L'analyse des métaux lourds a montré que le Cd est toujours présent dans la chair des huîtres avec des teneurs qui diminuent dans les individus transplantés à Phaéton. Les teneurs sont comprises entre 2,9 et 7,5 mg/kg sec, dans la même gamme que les valeurs obtenues lors de la 1<sup>ère</sup> phase d'étude en 2010. Ces valeurs excèdent donc souvent la teneur maximale admissible dans la réglementation CE fixée à 5 mg/kg sec [14] pour les denrées. Les teneurs en Hg ne permettent pas de démontrer une réelle accumulation sauf à Rangiroa où cette accumulation reste cependant faible. De même pour le Pb, les teneurs sont très faibles dans tous les échantillons mesurés. Ces teneurs en Hg et en Pb sont en-dessous des seuils réglementaires CE.

Aucune variation des teneurs en Cu et en Cr n'est vraiment notable sur toute la durée de l'étude. Les teneurs mesurées en Zn et en Fe montrent une accumulation à Moorea (Zn et Fe) et à Phaéton (Fe) alors qu'elles diminuent légèrement à Rangiroa (Zn et Fe). Les valeurs en Zn mesurées entre 2010 et 2013 sont comprises entre 530 et 2900 mg/kg sec alors que les concentrations mesurées dans les bénitiers en 2010 sont inférieures à 28 et celles mesurées dans les moules à Papeete en 1987-1988 sont inférieures à 590 mg/kg sec. L'huître perlière est donc un très bon intégrateur du Zn ainsi que du Fe même si les moules mesurées en 1987-1988 à Papeete semblent concentrer encore plus le Fe que les huîtres.

**L'analyse des composés organochlorés** a mis en évidence la présence d'**acétochlore** dans tous les échantillons mesurés sur la 1<sup>ère</sup> et 3<sup>ème</sup> période expérimentale avec une accumulation au cours du temps. D'autres composés,alachlore, propyzamide, procymidone, ont été détectés dans les chairs après 4 mois d'immersion des huîtres perlières sur plusieurs sites ainsi que quelques PCB. L'**isodrine** a été accumulé dans les mollusques à Vairao, Maupiti et Rangiroa. Très peu de composés ont été décelés au 1<sup>er</sup> semestre 2013 (2<sup>nde</sup> période expérimentale) et à des teneurs très faibles. Il n'y a pas de données de comparaison pour ces composés sur des prélèvements plus anciens en Polynésie.

**L'analyse des HAP** a permis de détecter des composés différents selon les 3 suivis réalisés. Le **phénanthrène** a été détecté sur tous les sites. Les mesures sont assez variables dans le temps pour ce type de composés qui ne semblent pas s'accumuler durablement dans la chair des huîtres. Il n'y a pas de comparaison avec des données anciennes sur d'autres filtreurs.

**Les mesures de radioactivité** dans les chairs ont montré qu'aucun radionucléide d'origine artificielle émetteur gamma n'a été détecté sur les 3 suivis réalisés. Les mollusques pourraient montrer une éventuelle contamination en <sup>137</sup>Cs et <sup>60</sup>Co mais les niveaux sont très faibles. Le <sup>40</sup>K, d'origine naturelle, est quantifié à des teneurs stables dans tous les échantillons. Par contre, le **Pu mesuré par spectrométrie alpha est quantifié de façon systématique** dans les échantillons à des valeurs de l'ordre de 1 mBq/kg frais (environ 20 mB/kg sec) comme celles mesurées généralement dans la chair des bénitiers. L'huître perlière est donc une excellente sentinelle pour la contamination radioactive : pour le Pu systématiquement détecté, pour le <sup>60</sup>Co avec une limite de détection inférieure à 0,1 Bq/kg sec et dans une moindre mesure pour le <sup>137</sup>Cs avec une LD inférieure à 0,5 Bq/kg sec.

**Le suivi du milieu** ne fait pas apparaître d'indicateurs de pollution particuliers. Les paramètres hydrologiques sont principalement influencés par les conditions météorologiques et la localisation du site par rapport à l'influence de la côte. Les analyses sédimentologiques ont permis de différencier les sites exposés à une sédimentation d'origine terrigène (Phaéton et Moorea) ou biogène (Vairao, Huahine, Maupiti et Rangiroa). Les peuplements de la faune et la flore marine sont plus importants dans les sites sujets à faible influence terrestre. Les résultats montrent que les sites des lagons d'une île haute ont un potentiel de dégradation plus important que pour un atoll. La géomorphologie de la côte, le type d'activité côtière et l'hydrodynamisme du site ont une grande influence sur la qualité de l'eau.



Parallèlement, des **expériences menées en laboratoire** ont permis de mettre en évidence le phénomène d'accumulation des métaux lourds, Cd et Cr, dans la chair des huîtres perlières. Ces teneurs augmentent rapidement au cours du temps lorsque le milieu est contaminé, notamment pour le Cd. Les byssus intègrent également ce métal dans une moindre mesure. Il est difficile d'en déduire directement un facteur de concentration entre le milieu naturel et les mollusques bivalves transplantés. Pour refléter au mieux les conditions naturelles, un renouvellement de l'eau en continu avec un apport de nourriture constant devrait être mis en place avec de plus grands volume d'eau.

La première expérimentation en laboratoire a également servi de support à un programme de l'Ifremer intégré dans le LabEx CORAIL. Le projet BIOLAG a permis de rechercher, par une analyse ciblée du transcriptome de l'huître perlière, des biomarqueurs moléculaires prédictifs de la présence de métaux lourds dans le milieu. Au final, sur les gènes candidats testés, 3 d'entre eux (Catalase, Caspase et glutathion peroxidase) se sont révélés être de bons biomarqueurs indicateurs d'une contamination.

Le travail réalisé lors de cette seconde phase d'étude 2012-2014 a permis de développer la mise en œuvre d'un réseau d'observation des polluants dans les lagons à partir de lots d'huîtres perlières fournies en grandes quantités par un éleveur des Tuamotu dispersées ensuite sur des sites à un temps donné. Une durée de 2 mois semble suffisante pour observer les polluants accumulés dans les chairs, ce qui permet de réduire le nombre d'individus en panier par rapport à celui utilisé lors de nos expérimentations en ne réalisant qu'un prélèvement au lieu de 2 (la perte par mortalité étant aussi réduite).

Dans le cadre de son activité d'expertise dans l'environnement, l'IRSN dispose d'un outil d'intégration opérationnel bien adapté pour la mesure du Pu, un lot d'huîtres perlières pouvant être stocké sur filière et consommé en fonction des besoins d'implantation sur sites.

Cet outil de diagnostic du milieu est retenu dans le cadre du programme INTEGRE (Initiative des Territoires pour la Gestion Régionale de l'Environnement) dont le projet à partir de 2015 est un « Réseau de surveillance de la qualité des eaux du lagon de Tahiti iti sur des sites anthropisés ». Les sites de Vairao et baie de Phaéton ainsi que les sites piscicoles et crevetticoles de Tautira et Teahupoo seraient étudiés.

## 5 REFERENCES

- [1] Bernagout S., Garen P. et Bouisset P., *Mise au point d'un réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les eaux lagunaires de Polynésie française par l'utilisation de mollusques sentinelles*. Rapport Ifremer CP/URMPF/12.003 (2012) 63p.
- [2] Bosserelle P., Espiau B., Planes S., *Suivi physico-chimique et biologique des sites de Vairao, Port Phaéton et Vaiare dans le cadre du « Réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie Française », juillet à novembre 2012*. CRILOBE RA 196 (2013) 85p.
- [3] Bosserelle P., Espiau B., Lecouvreur F., Planes S., *Suivi physico-chimique et biologique des sites de Vairao, Port Phaéton, Vaiare et Huahine dans le cadre du « Réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie Française », mars à juillet 2013*. CRILOBE RA 201 (2013) 60p.
- [4] Liao V., Bosserelle P., Espiau B., Planes S., *Suivi physico-chimique et biologique des sites de Vairao, Port Phaéton, Huahine, Maupiti et Rangiroa dans le cadre du « Réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie Française », octobre à février 2014*. CRILOBE (2014) 76p.
- [5] Virau T., *Mise en place des protocoles de mesures par absorption atomique et mise en œuvre de la contamination expérimentale en bassin des huîtres perlières par des métaux lourds*. Rapport de stage master 2 (2012) 49p.
- [6] Helme H., *Détermination en milieu contrôlé des cinétiques de concentration de métaux lourds dans les huîtres perlières*. Stage master2, rapport PRP-ENV/SESURE n° 2013-23 (2013) 21p.
- [7] Nohl M., *Réseau de surveillance des polluants anthropiques dans les lagons de Polynésie française - Expérience 3 de contamination des nacres par le cadmium en milieu contrôlé*. Rapport PRP-ENV/SESURE 2014-26 (2014) 23p.
- [8] *Compte-rendu final, projet LabEx CORAIL « BIOLAG », Etablissement de BIOmarqueurs moléculaires pour le suivi de l'écosystème LAGonaire face aux changements globaux, Appel d'offre 2012, projet incitatif (2014) 17p.*
- [9] Bouisset P., *Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2013 - Synthèse des résultats du réseau de surveillance de l'IRSN*. Rapport PRP-ENV/SESURE 2014-19 (2014) 34p.
- [10] De Nardi J-L., *Etude sur les caractéristiques des eaux de lagon exploitées en Polynésie française*. Rapport CEA R-5487, (1989) 25p. + annexes
- [11] 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
- [12] *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2009 - Synthèse des résultats des réseaux de surveillance de l'IRSN*, (2010) 175p.
- [13] 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.
- [14] Règlement CE 466/2001 du 8 mars 2001 et règlement CE 221/2002 du 6 février 2002.

## 6 ANNEXES

## ANNEXE 1 : Sites d'étude *in situ*

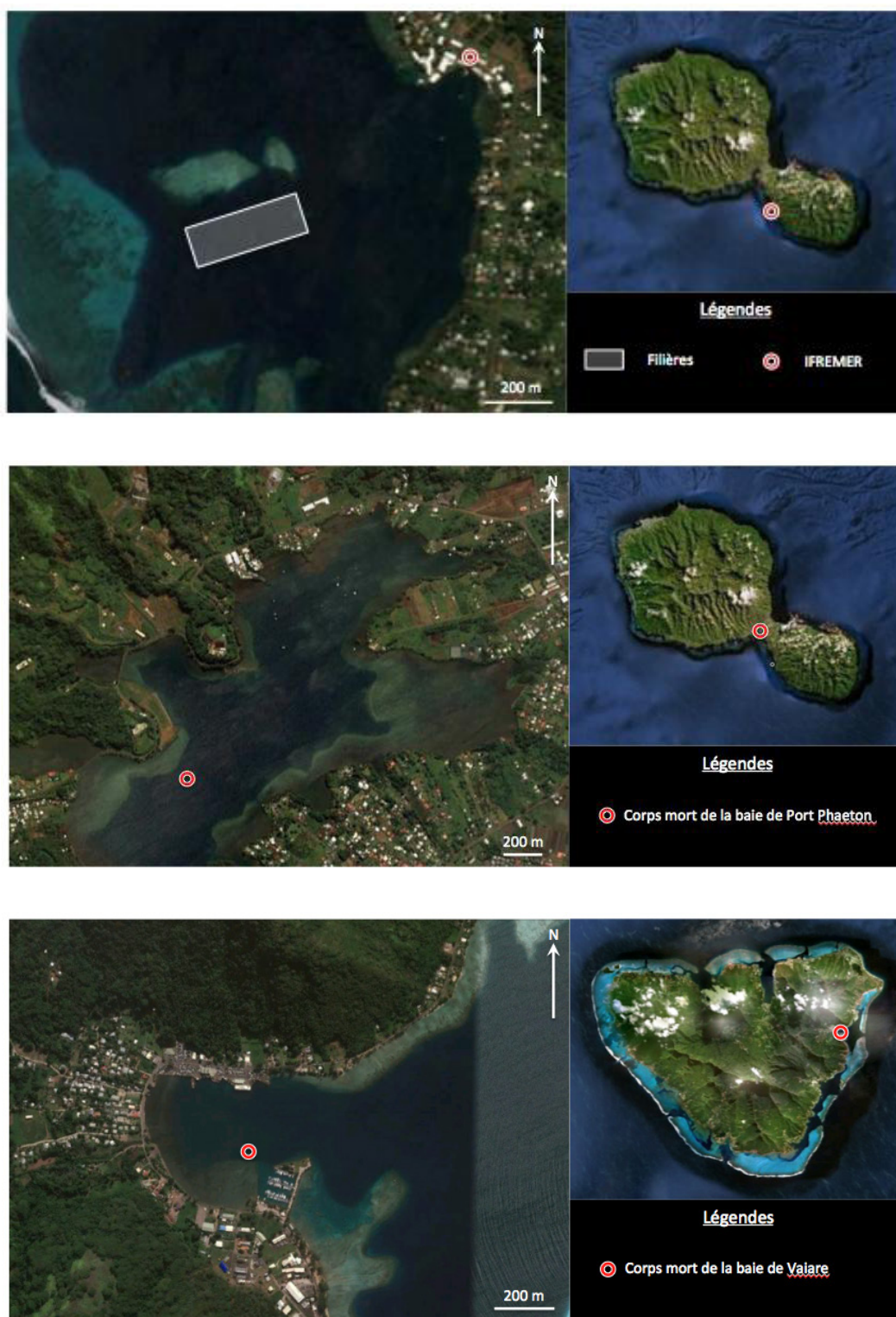


Figure A1-1 : Localisation (Google Earth) des sites de Tahiti - Vairao, Tahiti - baie de Phaéton, Moorea - Vaïare



Figure A1-2 : Localisation (Google Earth) des sites de Huahine, Maupiti et Rangiroa

## ANNEXE 2 : Contaminants chimiques recherchés

Tableau A2-1 : Protocoles analytiques des métaux lourds et HAP

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 A2-2 : Protocoles analytiques des composés organochlorés

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 3 : Nombre d'individus prélevés, mortalité et indices de condition des lots d'huîtres perlières

Tableau A3-1 : Nombre d'individus prélevés, mortalité et indices de condition des lots d'huîtres perlières transplantées sur les différents sites en 2012 et 2013

	<b>Nb indiv</b>	<b>Mortalité</b>	<b>IC</b>
TO	36	34%	0,033
T2 VAI	20	31%	0,037
T4 VAI	21	0%	0,030
T2 BP	30	27%	0,042
T4 BP	102	2%	0,045
T2 MOO	31	30%	0,026
T4 MOO	86	5%	0,022

	<b>nb indiv</b>	<b>mortalité</b>	<b>IC</b>
TO	49	10%	0,035
T2 VAI	50	12%	0,026
T4 VAI	149	5%	0,033
T2 BP	39	22%	0,034
T4 BP	194	25%	0,040
T2 MOO	50	0%	0,042
T4 MOO	335	4%	0,032
T2 HUA Owen	20	nm	0,023
T2 HUA	50	4%	0,031
T4 HUA	109	6%	0,026

	<b>nb indiv</b>	<b>mortalité</b>	<b>IC</b>
TO	39	41%	0,030
T4 VAI	18	70%	0,022
T4 BP	21	67%	0,030
T2 MAU	46	6%	0,054
T4 MAU	139	30%	0,029
T2 RAN	46	2%	0,054
T4 RAN	180	7%	0,033



## ANNEXE 4 : Teneurs en métaux lourds dans les huîtres perlières

Tableau A4-1 : Teneurs en métaux lourds (mg.kg<sup>-1</sup> sec) dans la chair des huîtres perlières transplantées sur les différents sites en 2012 et 2013

	Teneurs en métaux lourds (mg/kg p.s)							
	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fer	Mercure	Plomb	Zinc	
<b>2012</b>	TO	5,26	<0,1	17	150	0,03	0,1	893
	T2 VAI	4,75	<0,1	4,5	224	0,04	0,1	749
	T4 VAI	5,10	<0,1	4,0	202	0,04	0,2	700
	T2 BP	3,37	<0,1	3,9	717	0,03	0,1	650
	T4 BP	2,89	<0,1	4,1	421	0,03	0,1	745
	T2 MOO	5,97	<0,1	3,3	776	0,04	0,3	1380
	T4 MOO	5,44	<0,1	3,8	1020	0,04	0,4	1630

	Teneurs en métaux lourds (mg/kg p.s)							
	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fer	Mercure	Plomb	Zinc	
<b>2013 -1</b>	TO	6,10	1,1	3,8	146	0,05	0,1	808
	T2 VAI	6,80	1,1	3,5	130	0,04	<0,1	935
	T4 VAI	5,78	1,4	3,4	250	0,04	0,1	1010
	T2 BP	4,31	1,6	4,1	328	0,02	<0,1	863
	T4 BP	3,22	1,5	3,6	314	0,02	<0,1	721
	T2 MOO	4,09	1,9	3,6	357	0,02	0,2	1090
	T4 MOO	3,78	1,9	4,2	400	0,02	0,2	1300
	T2 HUA Owen	4,32	2,6	3,0	278	0,04	0,1	1350
	T2 HUA	5,69	2,2	2,7	259	0,04	0,1	941
	T4 HUA	6,81	1,2	2,9	120	0,04	0,2	1200

	Teneurs en métaux lourds (mg/kg p.s)							
	Cadmium	Chrome	Cuivre	Fer	Mercure	Plomb	Zinc	
<b>2013 -2</b>	TO	7,50	1,0	2,9	218	0,03	0,1	655
	T4 VAI	7,26	1,3	3,7	434	0,05	0,1	893
	T4 BP	5,15	2,0	3,6	619	0,04	0,1	867
	T2 MAU	7,62	1,3	2,6	266	0,04	0,1	717
	T4 MAU	6,22	1,0	2,7	213	0,04	<0,1	657
	T2 RAN	6,49	0,9	3,4	68,1	0,07	<0,1	556
	T4 RAN	6,06	0,9	2,8	65,6	0,06	<0,1	532

## ANNEXE 5 : Teneurs en composés organochlorés dans les huîtres perlières

Tableau A5-1 : Teneurs en composés organochlorés ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ sec}$ ) détectés dans la chair des huîtres perlières transplantées sur les différents sites en 2012 et 2013

	Organochlorés et apparentés ( $\mu\text{g}/\text{kg sec}$ )											
	Aldrine	Isodrine	DDE pp'	Dieldrine	Endrine	Endosulfan Béta	Endosulfan Sulfate	PCB 52	Acéto chlore	Alachlore	Propy zamide	Procy midone
<b>2012</b> TO	1,2	<1,0	<1,0	<1,0	1,9	<1,0	5,5	<1,0	33,4	<10,0	<10,0	<10,0
T2 VAI	1,6	1,9	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<5,0	1,1	44,7	<10,0	<10,0	<10,0
T4 VAI	2,4	2,6	<1,0	<1,0	1,5	1,7	<5,0	<1,0	75,6	<10,0	33,4	31,6
T2 BP	2,6	2,2	<1,0	<1,0	1,3	2,4	<5,0	<1,0	38,9	<10,0	<10,0	<10,0
T4 BP	4,1	2,1	1,6	1,3	2,0	3,0	<5,0	<1,0	82,9	14,9	32,9	14,0
T2 MOO	1,7	1,4	1,5	<1,0	<1,0	<1,0	<5,0	<1,0	40,3	<10,0	<10,0	<10,0
T4 MOO	3,0	2,0	<1,0	1,2	1,4	<1,0	<5,0	1,6	60,5	11,4	17,9	<10,0

	Organochlorés et apparentés ( $\mu\text{g}/\text{kg sec}$ )							
	Aldrine	Isodrine	Endrine	DDD op'	PCB 52	PCB 101	Heptachlore	Hexachloro benzène
<b>2013</b> -1 TO	<1,0	<1,0	<1,0	1,4	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T2 VAI	1,3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T4 VAI	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2,1	1,1	2,6	1,3
T2 BP	<1,0	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T4 BP	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,3	<1,0
T2 MOO	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T4 MOO	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T2 HUA Owen	<1,0	<1,0	1,4	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T2 HUA	<1,0	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T4 HUA	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

	Organochlorés et apparentés ( $\mu\text{g}/\text{kg sec}$ )														
	Aldrine	Isodrine	Hepta chlore	Heptachlore epoxy exo	Heptachlore epoxy end	Dieldrine	Endrine	DDD pp'	DDT op'	PCB 52	PCB 101	PCB 138	Beta HCH	Acéto chlore	Ala chlore
<b>2013</b> -2 TO	1,0	3,80	<1,0	1,8	<1,0	2,2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2,5	<1,0	<1,0	16,7	<10,0
T4 VAI	1,3	7,10	3,4	1,1	1,4	1,4	1,2	1,1	<1,0	1,2	6,8	<1,0	<1,0	25,9	<10,0
T4 BP	1,0	1,70	3,4	1,1	2,8	2,2	<1,0	<1,0	1,2	1,0	1,7	<1,0	<1,0	21,6	<10,0
T2 MAU	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,6	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	3,1	<1,0	<1,0	19,7	<10,0
T4 MAU	<1,0	7,2	3,7	1,3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,2	3,4	<1,0	1,8	28,3	31,7
T2 RAN	<1,0	6,9	4,3	1,1	<1,0	1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	3,5	<1,0	<1,0	20,2	13,2
T4 RAN	<1,0	3,7	2,2	1,2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	3,3	1,0	<1,0	23,2	26,1

## ANNEXE 6 : Teneurs en HAP dans les huîtres perlières

Tableau A6-1 : Teneurs en HAP ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  sec) détectés dans la chair des huîtres perlières transplantées sur les différents sites en 2012 et 2013

	HAP ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.s)							
	Naphtalène	Acénaphthène	Fluorène	Phénanthrène	Fluoranthène	Pyrène	Dibenzo (a,h) anthracène	Benzo (g,h,i) perylène
<b>2012</b>								
TO	1,6	<1,0	1,3	4,8	1,8	2,1	<5,0	12,4
T2 VAI	2,5	<1,0	<1,0	2,4	1,5	1,7	12,7	<5,0
T4 VAI	2,9	<1,0	<1,0	4,2	1,6	2,3	15,1	<5,0
T2 BP	2,3	<1,0	<1,0	3,4	1,7	2,3	19,7	<5,0
T4 BP	2,0	<1,0	<1,0	2,2	1,6	1,8	19,1	<5,0
T2 MOO	4,1	1,2	1,6	6,4	2,3	2,8	<5,0	23,3
T4 MOO	2,4	<1,0	<1,0	1,5	1,1	<1,0	15,6	<5,0

	HAP ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.s)								
	Phénanthrène	Fluoranthène	Pyrène	Benzo (a) anthracène	Chrysène	Benzo (b) fluoranthène	Benzo (k) fluoranthène	Benzo (a) pyrène	Acénaphthène
<b>2013</b>									
-1									
TO	3,4	2,7	2,9	1,2	1,2	3,7	1,3	2,0	<1,0
T2 VAI	2,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T4 VAI	1,7	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T2 BP	2,3	2,2	3,4	1,2	1,4	3,7	1,3	2,9	<1,0
T4 BP	2,5	<1,0	1,3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T2 MOO	1,9	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T4 MOO	1,7	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,7	<1,0	<1,0	1,1
T2 HUA Owen	<1,0	<1,0	1,1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T2 HUA	1,8	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
T4 HUA	1,4	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

	HAP ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.s)			
	Fluorène	Phénanthrène	Fluoranthène	Pyrène
<b>2013</b>				
-2				
TO	<1,0	3,4	<1,0	<1,0
T4 VAI	1,0	4,2	1,3	1,5
T4 BP	<1,0	4,5	1,4	1,6
T2 MAU	1,1	4,8	1,2	1,3
T4 MAU	1,1	4,8	1,3	1,5
T2 RAN	1,1	4,5	<1,0	1,3
T4 RAN	<1,0	3,4	1,1	1,60

## ANNEXE 7 : Mesure de la radioactivité gamma dans les huîtres perlières

Tableau A7-1 : Activités (Bq.kg<sup>-1</sup> frais) dans la chair des huîtres perlières transplantées sur les différents sites en 2012 et 2013

2012

	Activité (Bq/kg frais)				
	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co	<sup>241</sup> Am	<sup>40</sup> K	<sup>210</sup> Pb
TO	≤ 0,08	≤ 0,09	≤ 0,09	66 ± 4	3,1 ± 0,4
T2 VAI	≤ 0,09	≤ 0,12	≤ 0,12	70 ± 4	8,5 ± 0,8
T4 VAI	≤ 0,10	≤ 0,12	≤ 0,12	63 ± 4	5,7 ± 0,6
T2 BP	≤ 0,10	≤ 0,12	≤ 0,11	72 ± 4	3,3 ± 0,5
T4 BP	≤ 0,12	≤ 0,13	≤ 0,12	73 ± 4	2,5 ± 0,5
T2 MOO	≤ 0,10	≤ 0,13	≤ 0,12	60 ± 3	4,9 ± 0,6
T4 MOO	≤ 0,09	≤ 0,10	≤ 0,09	56 ± 3	5,5 ± 0,5

2013-1

	Activité (Bq/kg frais)				
	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co	<sup>241</sup> Am	<sup>40</sup> K	<sup>210</sup> Pb
TO	≤ 0,06	≤ 0,07	≤ 0,08	66 ± 4	4,7 ± 0,5
T2 VAI	≤ 0,07	≤ 0,10	≤ 0,09	57 ± 3	5,8 ± 0,7
T4 VAI	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,06	53 ± 3	1,5 ± 0,3
T2 BP	≤ 0,10	≤ 0,12	≤ 0,12	63 ± 4	2,5 ± 0,6
T4 BP	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,12	69 ± 4	≤ 1,2
T2 MOO	≤ 0,09	≤ 0,10	≤ 0,12	69 ± 4	4,5 ± 0,7
T4 MOO	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,08	61 ± 3	4,0 ± 0,4
T2 HUA Owen	≤ 0,14	≤ 0,16	≤ 0,19	77 ± 4	5,2 ± 1,0
T2 HUA	≤ 0,07	≤ 0,08	≤ 0,10	64 ± 3	5,1 ± 0,7
T4 HUA	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,09	56 ± 3	3,9 ± 0,4

2013-2

	Activité (Bq/kg frais)				
	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co	<sup>241</sup> Am	<sup>40</sup> K	<sup>210</sup> Pb
TO	≤ 0,06	≤ 0,08	≤ 0,15	65 ± 4	5,9 ± 0,8
T4 BP	≤ 0,08	≤ 0,09	≤ 0,13	36 ± 2	1,0 ± 0,6
T2 MAU	≤ 0,05	≤ 0,06	≤ 0,10	58 ± 3	6,4 ± 0,7
T4 MAU	≤ 0,03	≤ 0,04	≤ 0,14	51 ± 3	4,6 ± 0,6
T2 RAN	≤ 0,05	≤ 0,06	≤ 0,11	66 ± 4	4,6 ± 0,5
T4 RAN	≤ 0,06	≤ 0,07	≤ 0,31	64 ± 4	8,7 ± 1,1

## ANNEXE 8 : Mesure du Cd et du Cr dans les huîtres perlières contaminées en laboratoire - Expérience 2

Tableau A8-1 : Teneurs en Cd et Cr (mg.kg<sup>-1</sup> sec) dans la chair des huîtres perlières soumises à l'ajout de 3 niveaux de concentration en bacs contrôlés

	T (jr)	nom éch	bac	PF (g)	PS (g)	taille (cm)	[Cd] (mg/kg ps)	[Cr] (mg/kg PS)
	0	T0 1	T	23,1	4,1	nm	6,93	2,55
		T0 2	T	8,4	1,5	nm	7,71	2,98
		T0 3	T	34,9	5,5	nm	5,51	2,44
Conta N1, N2 et N3	1	T1 1	T	10,7	1,4	nm	9,74	5,44
		T1 2	T	18,9	3,5	nm	6,14	2,96
		T1 3	T	22,0	4,0	nm	9,23	2,60
		T1 4	N1R1	20,3	2,9	nm	11,29	2,96
		T1 5	N1R2	13,3	1,8	nm	7,96	2,96
		T1 6	N1R3	9,4	1,9	nm	11,16	3,80
		T1 7	N2R1	22,2	3,6	nm	18,90	2,76
		T1 8	N2R2	11,3	1,8	nm	15,06	3,46
		T1 9	N2R3	8,6	1,4	nm	18,92	4,18
		T1 10	N3R1	7,0	1,2	nm	23,80	5,15
		T1 11	N3R2	27,8	5,2	nm	14,59	2,32
		T1 12	N3R3	15,8	2,9	nm	11,87	3,11
	4	T4 1	T	30,9	5,5	14,2	4,57	2,25
		T4 2	T	21,6	3,8	12,6	8,69	2,26
		T4 3	T	17,9	2,9	11,5	9,19	2,37
		T4 4	N1R1	10,3	1,6	9,7	13,61	3,76
		T4 5	N1R2	19,7	3,1	13,4	13,11	3,62
		T4 6	N1R3	21,1	3,8	11,3	5,74	2,32
		T4 7	N2R1	18,8	3,6	12,6	23,05	2,77
		T4 8	N2R2	21,8	4,1	12,7	36,74	2,72
		T4 9	N2R3	8,2	1,3	9,6	29,74	4,23
		T4 10	N3R1	23,7	4,1	13,3	54,76	2,88
		T4 11	N3R2	24,9	4,5	13,2	36,66	3,12
		T4 12	N3R3	9,0	1,8	10,8	22,46	3,98
	7	T7 1	T	11,7	1,8	9,7	7,65	3,41
		T7 2	T	25,2	4,5	13,8	5,95	2,19
		T7 4	N1R1	13,0	2,1	10,9	24,18	18,98
		T7 5	N1R2	28,9	4,7	13,6	25,75	1,71
		T7 6	N1R3	14,0	2,1	10,1	23,99	4,04
		T7 7	N2R1	19,3	3,1	10,9	48,21	1,78
		T7 8	N2R2	14,0	4,4	11,7	36,90	1,86
		T7 9	N2R3	20,0	3,4	11,7	44,26	1,05
		T7 10	N3R1	5,1	0,9	7,4	55,69	8,08
		T7 11	N3R2	11,5	2,1	9,9	55,78	4,92
		T7 12	N3R3	16,8	1,3	13,1	162,79	0,00
		Déconta N3	8	T8 1	T	13,1	2,1	10,9
T8 2	T			16,0	2,4	11,3	6,08	nm
T8 3	T			13,8	2,1	10,3	9,66	nm
T8 10	N3R1			13,1	2,0	12,1	86,87	nm
T8 11	N3R2			14,8	2,6	11,6	91,64	nm
T8 12	N3R3			15,4	2,4	11,5	105,19	nm
Déconta N3	9	D1 1	T	10,8	1,6	10,2	10,02	nm
		D1 10	N3R1	31,8	4,9	14,8	39,26	nm
		D1 11	N3R2	12,0	2,0	10,6	78,76	nm
		D1 12	N3R3	27,5	4,5	14,2	39,10	nm
Conta N1 et N2 Déconta N3	11	T11 1	T	11,8	1,5	9,5	8,51	3,56
		T11 2	T	14,8	2,3	10,7	14,70	2,64
		T11 3	T	7,3	1,4	9,0	5,25	3,84
		T11 4	N1R1	21,9	4,0	11,9	24,15	2,20
		T11 5	N1R2	12,6	1,9	10,8	42,44	3,08
		T11 6	N1R3	17,7	3,1	12,1	33,39	2,47
		T11 7	N2R1	10,2	1,5	11,0	104,73	5,63
		T11 8	N2R2	11,0	1,4	10,7	136,15	5,05
		T11 9	N2R3	17,9	2,4	11,0	84,46	3,55
		D3 10	N3R1	8,6	1,5	9,5	69,50	3,18
		D3 11	N3R2	8,6	1,3	9,4	121,29	3,79
		D3 12	N3R3	30,8	5,5	14,0	27,95	2,02

Déconta N1 et N2	17	D0 1	T	17,9	3,4	11,2	5,07	1,68
		D0 2	T	8,3	1,6	7,8	5,06	2,55
		D0 3	T	12,2	1,7	9,7	5,71	2,65
		D0 4	N1R1	14,0	1,9	9,9	92,15	2,75
		D0 5	N1R2	11,2	1,7	9,9	70,41	1,99
		D0 6	N1R3	11,5	1,4	9,2	16,82	0,56
		D0 7	N2R1	18,8	2,4	11,4	77,28	2,92
		D0 8	N2R2	8,0	1,5	9,5	109,64	3,84
		D0 9	N2R3	16,7	2,0	11,1	113,93	4,82
Déconta N1 et N2	18	D1 4	N1R1	7,5	1,2	8,5	49,00	3,79
		D1 5	N1R2	19,4	2,5	12,0	63,87	2,70
		D1 6	N1R3	6,2	1,1	8,3	58,45	4,17
		D1 7	N2R1	10,8	1,5	11,0	99,11	3,11
		D1 8	N2R2	11,1	1,4	10,9	185,73	4,44
		D1 9	N2R3	24,0	3,0	13,3	43,33	2,81
Déconta N1 et N2	21	D4 1	T	7,6	1,1	8,8	5,72	4,18
		D4 2	T	16,8	2,0	11,8	13,48	2,97
		D4 3	T	19,9	2,2	13,9	13,37	5,42
		D4 4	N1R1	13,4	2,3	10,7	53,63	2,81
		D4 5	N1R2	5,9	1,0	8,2	67,69	nm
		D4 6	N1R3	14,4	1,9	11,8	91,50	nm
		D4 7	N2R1	12,2	1,7	11,4	138,72	nm
		D4 8	N2R2	20,5	3,8	13,6	74,98	nm
		D4 9	N2R3	14,0	2,8	11,4	62,66	nm
Déconta N1 et N2	25	D8 1	T	8,5	1,2	9,8	4,08	nm
		D8 2	T	10,2	1,4	10,4	5,49	nm
		D8 3	T	6,3	1,1	8,7	0,00	nm
		D8 4	N1R1	7,0	1,2	8,6	4,05	nm
		D8 5	N1R2	5,9	0,7	8,4	68,31	nm
		D8 6	N1R3	9,7	1,4	9,5	76,10	nm
		D8 7	N2R1	9,7	1,4	8,7	127,28	nm
		D8 8	N2R2	23,8	3,1	12,8	77,38	nm
		D8 9	N2R3	14,3	2,3	12,3	18,35	nm
Déconta N2	32	D15 1	T	5,7	1,0	8,2	6,22	nm
		D15 2	T	16,6	1,8	12,3	14,60	nm
		D15 3	T	12,2	1,6	11,6	0,00	nm
		D15 7	N2R1	7,3	1,5	8	71,88	nm
		D15 8	N2R2	8,9	1,5	11,2	15,00	nm
		D15 9	N2R3	7,4	1,6	9,2	68,48	nm
Déconta N2	42	D25 1	T	16,4	2,5	12,6	8,02	nm
		D25 2	T	7,2	1,0	8,6	9,84	nm
		D25 3	T	14,7	2,2	13	10,14	nm
		D25 7	N2R1	9,3	1,3	11,2	140,59	nm
		D25 8	N2R2	13,5	2,0	11	109,12	nm
		D25 9	N2R3	20,9	3,4	13,2	60,96	nm
Déconta N2	49	D34 7	N2	8,2	1,0	9,2	161,05	nm
		D34 8	N2	28,8	2,9	13,1	57,32	nm
		D34 9	N2	5,3	0,7	8,6	190,08	nm
		D34 9'	N2	9,2	1,2	9,8	69,90	nm
		D34 9''	N2	4,8	0,6	8,4	146,51	nm

nm = non mesuré