

Rapport final

Risque ciguatérique dans la région Sud de la Nouvelle-Calédonie : compilation des "données historiques", analyse et tendances pour la période 2005-2012

Kerbrat A-S et Kumar-Roiné S

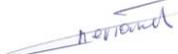
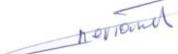
Editeur : OEIL.

Mars 2013



Observatoire de l'environnement
en Nouvelle-Calédonie

11 rue Guynemer
98800 Nouméa
Tel.: (+ 687) 23 69 69
www.oeil.nc

	N/Ref	V/Ref	
Identification	111115-OE-04	BA13/04/2011	
Titre complet	Risque ciguatérique dans la région Sud de la Nouvelle-Calédonie : compilation des "données historiques", analyse et tendances pour la période 2005-2012		
Auteurs	Anne-Sophie KERBRAT et Shilpa KUMAR-ROINE		
Résumé	<p>Ce rapport présente une synthèse des différents programmes compilant l'ensemble des données collectées depuis 8 ans, entre 2005, date des premiers suivis du risque ciguatérique en Baie du Prony et 2012.</p> <p>Progressivement, la méthode de suivi a évolué et en 2012, la zone de surveillance s'est étendue plus généralement dans la région Sud de la Nouvelle-Calédonie, à savoir de l'île Ouen en passant par la Baie du Prony jusqu'au Canal de la Havannah et le sud des zones de pêche de la tribu de Goro.</p> <p>Le risque ciguatérique est évalué à deux niveaux de surveillance : i) au niveau des microorganismes ciguatoxinogènes permettant de caractériser l'émergence du phénomène ciguatérique et ii) au niveau des <i>poissons-sentinelles</i> pour définir l'état sanitaire de cette ressource consommée par la population.</p> <p>L'« Echelle 1 » de surveillance ciguatérique (micro-organismes) indique que le risque en Baie du Prony est faible entre 2005 et 2008 puis de 2010 à 2012 (Niveau 1) et qu'en 2009 il s'est élevé au niveau maximal (Niveau 5).</p> <p>L'« Echelle 2 » de surveillance ciguatérique (toute espèce confondue) indique que le risque sur les zones de la Baie du Prony et de Port Boisé, est évalué à un Niveau A en 2008 et 2009. Le risque sur la zone de Bonne Anse, seule zone suivie en 2008, 2009 et 2012, est également évalué à Niveau A. En 2012, quatre nouvelles zones ont été ajoutées au réseau de surveillance dont la zone de Port de Goro où le risque est évalué à Niveau A. Cependant, les trois autres nouvelles zones (île Ouen, Baie Kué et Canal de la Havannah) ont été considérées à risque avec un Niveau B.</p>		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur 1	Anne-Sophie Kerbrat		15/01/2013
Rédacteur 2 / Vérificateur 1	Shilpa Kumar-Roiné		17/12/2012
Vérificateur 2	Jean-Michel Fernandez		28/03/2013
Approbateur(s)	Jean-Michel Fernandez		28/03/2013
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR	DATE	
V3.0		28/03/2013	
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Matthieu Junker	OEIL		

Ce rapport est cité comme suit :

Kerbrat AS et Kumar-Roiné S, 2013. Risque ciguatérique dans la région Sud de la Nouvelle-Calédonie : compilation des "données historiques", analyse et tendances pour la période 2005-2012. Rapport AEL réalisé pour l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie (OEIL), contrat AEL/OEIL, 111115-OE-04, 52p.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	5
CONTEXTE DU SUIVI CIGUATERIQUE	6
I. ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES SUR L'INTOXICATION CIGUATERIQUE	6
II. CONTEXTE : UN RISQUE CIGUATERIQUE DANS LA ZONE DU GRAND SUD DE LA GRANDE TERRE ?	7
III. HISTORIQUE : PROGRAMMES, OBJECTIFS ET ACTEURS	8
A. 2005-2007 : IRD et Goro-Nickel	9
B. 2007-2010 : IRD et Vale-Inco	9
C. 2011 : AEL et OEIL	9
D. 2012 : AEL et Vale-NC	10
EVOLUTION DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE	11
I. SUIVI DES MICRO-ORGANISMES	11
A. Principe général	11
B. Stratégie d'échantillonnage	12
C. Méthodologie d'échantillonnage	13
D. Valeur de référence	15
II. SUIVI DE LA TOXICITE DES POISSONS	16
A. Collecte	16
B. Analyse de la toxicité	18
SYNTHESE DES DONNEES	20
I. ECHELLE 1 DE RISQUE : SUIVI DES MICRO-ORGANISMES	20
A. Dinoflagellés	21
B. Cyanobactéries	24
C. Synthèse : Echelle 1 de risque	29
II. ECHELLE 2 DE RISQUE : TOXICITE DES POISSONS, VECTEURS DE TOXICITE	29
A. Collecte	29
B. Analyses toxicologiques, Test de cytotoxicité	30
Synthèse : Echelle 2 de Risque	33
CONCLUSIONS	34
I. LA METHODOLOGIE D'EVALUATION DU RISQUE CIGUATERIQUE	34
II. EVALUATION DU RISQUE CIGUATERIQUE	35
A. Echelle 1 : les Micro-organismes	35
B. Echelle 2 : la Toxicité des poissons-sentinelles	35
REFERENCES	38
LISTE DE FIGURES	40
LISTE DES TABLEAUX	41
ANNEXES	42

INTRODUCTION

L'objectif principal de ce travail est de fournir une synthèse des résultats de suivi des risques ciguatériques obtenus entre 2005 et 2012 dans la région Sud de la Grande Terre et en particulier dans la Baie du Prony (Figure 1). Ce travail a été commandité par l'OEIL (Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie, province Sud) dans le cadre de la surveillance environnementale du milieu marin de la région Sud. En effet, l'OEIL a pour objectifs de surveiller, d'analyser et d'informer la population sur les activités et les changements potentiels liés aux activités de Vale-NC dans la zone du « Grand Sud ». A ce titre, il s'intéresse également à la surveillance du risque ciguatérique dans la région.

Ce rapport est articulé de la manière suivante :

Dans un premier temps, le **contexte** actuel est décrit, en rappelant l'état des connaissances sur le phénomène ciguatérique, les particularités de la zone du Grand Sud puis la synthèse des différents programmes. Dans un second temps, le suivi du phénomène ciguatérique a fait l'objet de recherche pour le développement d'une méthode de suivi du risque sanitaire ciguatérique, il était important d'aborder le descriptif de la **méthode et son évolution**. Enfin, la troisième partie, constituant le cœur du rapport donnera une **synthèse des principaux résultats et conclusions** produites par ces études.



Figure 1 : La Baie du Prony, baie calme et enclavée aussi appelée la baie anticyclonique.

CONTEXTE DU SUIVI CIGUATÉRIQUE

I. ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES SUR L'INTOXICATION CIGUATÉRIQUE

La ciguatera ou « la gratte » selon la dénomination locale est un des risques spécifiques aux régions tropicales lié à la consommation des produits de la mer et, en particulier des poissons. Le terme *ciguatera* désigne à la fois, le phénomène écotoxicologique complexe et l'intoxication (Lehane & Lewis, 2000 ; Laurent *et al.*, 2005). Elle a pour origine la bioaccumulation de toxines produites par des dinoflagellés (*Gambierdiscus spp.*) (Bagnis *et al.*, 1980 ; Laurent *et al.*, 2005) et certaines cyanobactéries filamenteuses (ordre des Oscillatoriales) (Golubic *et al.*, 2010 ; Kerbrat, 2010 ; Kerbrat *et al.*, 2010 ; Laurent *et al.*, 2010).

Les cas de ciguatera enregistrés dans une zone, définie comme zone « gratteuse », fait souvent suite à une perturbation de l'environnement qui indirectement favorise la prolifération de micro-organismes ciguatoxinogènes. Les observations menées depuis près de 50 ans par les chercheurs confirment cette connaissance empirique (Lehane & Lewis, 2000 ; Laurent *et al.*, 2005 ; Dickey & Plakas, 2010). La variation des facteurs environnementaux peut être due à des perturbations naturelles (tsunamis, cyclones, séismes, volcanisme sous-marin, blanchissement des coraux ...) ou anthropiques (ancrage, aménagement du territoire, construction de digues, creusement de chenal, apports terrigènes...).

Ainsi, il est établi que les modifications de certains facteurs environnementaux peuvent favoriser le développement de zones dites ciguatériques. En effet, la prolifération de dinoflagellés et de cyanobactéries est alors largement favorisée par la création de «nouvelles surfaces» colonisables par le biais de macro-algues opportunistes, supports privilégiés des dinoflagellés ou directement par les cyanobactéries. Si ces types de micro-organismes potentiellement producteurs de toxines sont effectivement toxiques, les toxines produites peuvent rentrer dans la chaîne alimentaire *via* les herbivores ou les mollusques puis affecter l'Homme : c'est le phénomène de bioaccumulation (Figure 2) (Lehane & Lewis, 2000 ; Dickey & Plakas, 2010).



Figure 2 : Schéma de l'intoxication par la chaîne alimentaire via les herbivores ou les mollusques (Source : www.ilm.pf).

II. CONTEXTE : UN RISQUE CIGUATÉRIQUE DANS LA ZONE DU GRAND SUD DE LA GRANDE TERRE ?

L'implantation des infrastructures minières et industrielles de Vale Nouvelle-Calédonie (Vale-NC) dans le sud de la Nouvelle-Calédonie (Figure 3) entraîne potentiellement un changement du paysage récifal de la zone environnante, notamment en raison de :

- La construction du port dans la Baie du Prony ;
- L'augmentation de la fréquentation de la baie (navires marchands ou activités récréatives) ;
- La construction des infrastructures terrestres en amont des bassins versants qui peuvent augmenter les apports terrigènes et être source de pollutions ;
- La mise en place d'un émissaire marin rejetant les résidus liquides (effluent) du procédé industriel.

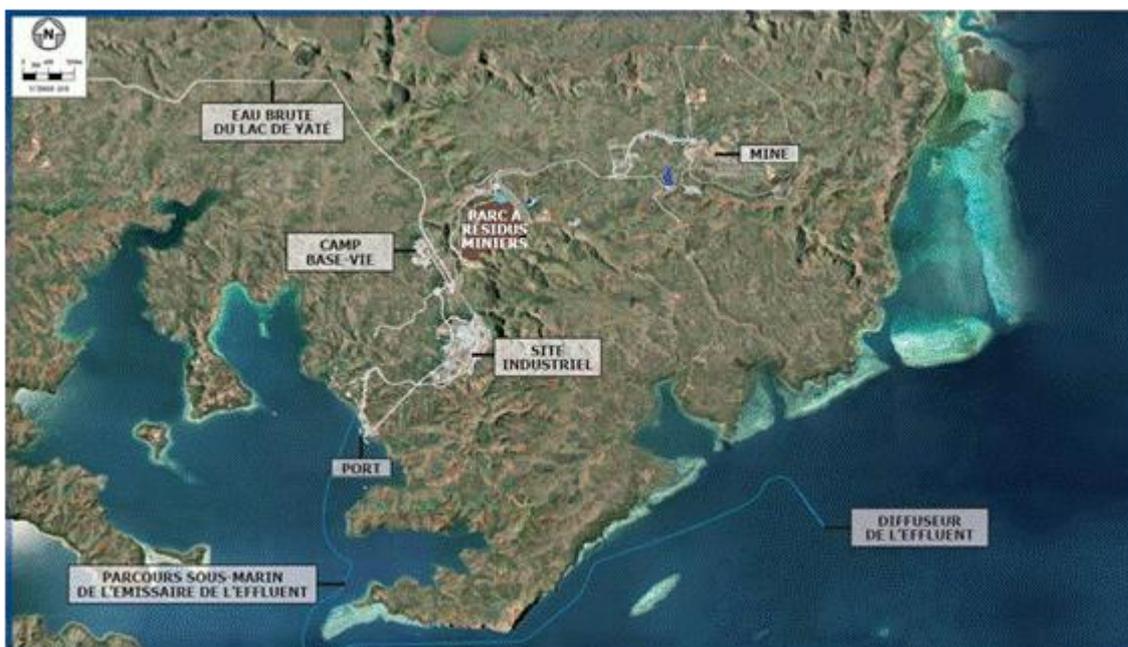


Figure 3 : Carte de la zone du sud de la Grande Terre et de l'implantation des différentes infrastructures de Vale-NC (Sources Vale-NC).

A l'heure de la mise en production de l'usine de Vale-NC, le suivi du développement ciguatérique potentiel s'était imposé comme une nécessité dans le secteur sud allant de la Baie du Prony à la Baie Kué. En termes de

suivi sanitaire et environnemental lié au risque ciguatérique, il n'existe aucune contrainte réglementaire pour l'exploitant Vale-NC, seule implantation minière et industrielle dans la zone.

Ainsi, d'un point de vue scientifique, l'implantation de l'usine de Vale-NC dans le Grand Sud constitue un terrain d'étude privilégié pour observer la succession possible des étapes annonciatrices des intoxications ciguateriques. En effet, étant donné, i) les changements physiques des récifs liés à l'implantation des infrastructures de l'usine, ii) les éléments qui jouent un rôle dans le déterminisme de la ciguatera (paramètres physico-chimiques favorables aux efflorescences de micro-organismes et à la production de toxines, puis à l'accumulation de ces toxines chez les poissons) et, iii) le contexte particulier de la Baie du Prony et celle de la zone du Grand Sud (sédimentation, enclavement, etc.), les écosystèmes récifaux de certaines zones sont susceptibles d'être modifiés et de présenter des facteurs favorisant le développement des micro-organismes.

Deux types de zones peuvent présenter un terrain favorable à ce développement, et entraîner un risque potentiel de ciguatera:

- Les zones dont l'environnement physique change de manière immédiate comme les digues ou les creusements de chenaux,
- Les zones susceptibles d'être perturbées par l'activité anthropique (ex : navigation) ou les changements environnementaux (ex. : apports sédimentaires et apports d'eau douce).

Ainsi la **zone du Port de commerce (Baie du Prony)** et plus particulièrement **les zones d'endiguement**, et les zones de la **Baie Kué** et de **Port Boisé** répondent à ces critères et méritent donc une surveillance continue. En effet, à court terme (entre quelques mois et 2 ans), les micro-organismes peuvent proliférer sur ces zones vierges (effet direct) (Chinain *et al.*, 1999 ; O'Toole *et al.*, 2012). Ailleurs, là où les zones coralliennes peuvent subir un accroissement des pressions, comme l'apport de particules terrigènes accentué par l'intensification du lessivage des sols, à plus ou moins long terme, la santé des coraux peut être affectée et donc provoquer l'apparition de surfaces disponibles pour les micro-organismes (effet indirect).

III. HISTORIQUE : PROGRAMMES, OBJECTIFS ET ACTEURS

De 2005 à 2012, le « risque ciguatera » a été suivi sur la région du Grand Sud calédonien à travers quatre projets menés par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) puis par le laboratoire AEL. Ceux-ci ont été initiés et financés par l'exploitant minier (Goro-Nickel, Vale-INCO puis Vale-Nouvelle-Calédonie) et l'OEIL (Tableau 1).

Tableau 1 : Projets scientifiques pour le suivi du risque ciguatérique dans la région du Grand Sud.

Date	ORGANISMES		Nature du suivi	Responsable	NOMBRE DE STATIONS ET ZONES DU SUIVI	
	Suivi scientifique	Financement			Micro-organismes (station) ¹	Poissons (zone)
2005 -2007	IRD UMR 152	Goro-Nickel	Dinoflagellés	D. Laurent	8	0
2007-2010	IRD	Vale-Inco	Dinoflagellés + cyanobactéries + poissons	D. Laurent AS Kerbrat	12	3
2011	AEL	OEIL	Dinoflagellés + cyanobactéries	AS Kerbrat	14	0
2012	AEL	Vale-NC	Dinoflagellés + cyanobactéries + poissons	AS Kerbrat A. Goyaud	14	5

¹ Se référer au Tableau 2 pour consulter les stations communes aux différents projets de suivi

A. 2005-2007 : IRD ET GORO-NICKEL

L'implantation des infrastructures minières dans le sud de la Nouvelle-Calédonie risque d'engendrer un changement sur le paysage récifal de la zone *via* notamment l'impact de l'activité portuaire et l'augmentation de la population. D'un point de vue scientifique, l'IRD avait vu l'opportunité de suivre un phénomène ciguatérique potentiel en émergence ; cette implantation a constitué une opportunité exceptionnelle de mieux comprendre les relations entre l'environnement et le développement de phénomènes ciguatériques. En 2005, le Département Environnement de Goro-Nickel et l'UMR 152 de l'IRD de Nouméa ont donc collaboré pour travailler ensemble sur le risque ciguatérique de la Baie du Prony. A ce stade, seuls les dinoflagellés avaient été suivis régulièrement (présence, détermination, toxicité) et aucune preuve du risque lié aux cyanobactéries n'avait alors été apportée.

Toutefois, durant cette période, l'équipe de l'IRD avait étudié le risque ciguatérique lié aux cyanobactéries en particulier sur l'île de Lifou. Les premiers résultats publiés en 2008 (Laurent *et al.*, 2008) dépeignaient alors l'intérêt de suivre ces populations dans le suivi environnemental du risque ciguatérique.

B. 2007-2010 : IRD ET VALE-INCO

Le suivi réalisé de 2007 à 2010 a été mené dans le cadre d'une thèse de Doctorat réalisée dans l'UMR 152 à l'IRD sous la direction scientifique de Dominique Laurent (Kerbrat, 2010 ; Kerbrat & Laurent, 2010). Le projet a été mené conjointement avec le Département Environnement de Vale-INCO (bourse CIFRE).

Un des objectifs principaux de la thèse était de mettre en place une méthodologie permettant le développement à plus long terme d'un plan de surveillance de la ciguatera en tenant compte des facteurs potentiels de risque mis en évidence. Travaux de thèse appliqués, ils ont permis de proposer une méthode de suivi éco-toxicologique adaptée et un outil d'aide à la décision pour les décideurs.

Ce travail intégrait également le suivi du risque ciguatérique dans le lagon d'Ouvéa et dans la Baie du Prony. Ainsi, ces deux sites présentaient des intérêts scientifiques complémentaires : i) l'un, reconnu indemne d'intoxications ciguatériques, pour évaluer la toxicité de la population pisciaire et ii) l'autre, dans un milieu en cours de perturbation potentielle, pour analyser le devenir d'une population. Sur chaque site, les questionnements posés concernaient : la présence et la nature des micro-organismes (dinoflagellés et cyanobactéries), la ciguatoxicité des poissons (campagnes de pêche en 2008 et 2009) et l'ampleur du phénomène.

C. 2011 : AEL ET OEIL

En 2011 après le développement de la méthode de suivi ciguatérique par l'IRD, l'OEIL a fait appel aux compétences d'AEL afin de maintenir le suivi des populations de micro-organismes ciguatoxinogènes qui avait été initié dans la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. L'objectif pour l'Observatoire était de ne pas interrompre l'acquisition de données afin d'éviter une rupture dans la série temporelle nécessaire à la bonne interprétation des phénomènes et à la détection précoce des perturbations environnementales. Ce suivi n'a concerné que l'observation des micro-organismes (nature, densité et toxicité).

D. 2012 : AEL ET VALE-NC

A l'issue de la campagne 2011, Vale-NC a décidé de reprendre à sa charge le suivi du risque ciguatérique. Ce suivi a concerné l'observation des micro-organismes (nature, densité et toxicité) ainsi que la ciguatoxicité des poissons.

Suite à la phase de définition de l'état de référence du milieu marin (2005-2010), conduit par l'IRD de Nouméa (UMR Camélia), Vale-NC a financé en 2012, dans la continuité de ces travaux et ceux du suivi ciguatérique, un programme mené par le laboratoire AEL dont la particularité a été de coupler le suivi du risque lié à l'accumulation des métaux dans les chairs au suivi du risque ciguatérique.

EVOLUTION DE L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Les premières années d'étude sur la Baie du Prony ont permis de valider l'approche préconisée pour l'évaluation du risque ciguatérique à travers une méthode complète validée et calibrée pour l'environnement du lagon sud de Nouvelle-Calédonie (Kerbrat, 2010 ; Kerbrat & Laurent, 2010). Celle-ci est reprise dans le « *Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie* » rédigé en 2011 sous la forme d'une Fiche Technique (Annexe 2 ; Beliaeff *et al.*, 2011).

L'organigramme complet de la méthodologie est présenté dans l'Annexe 1.

La méthode tient compte en particulier de la toxicité des poissons pêchés dans les zones d'études en plus du suivi des populations de micro-organismes potentiellement toxiques. L'architecture de cette méthodologie est basée sur **deux échelles** d'évaluation du risque :

- I. Le suivi des types de populations de micro-organismes ciguatoxinogènes benthiques (dinoflagellés et cyanobactéries), afin d'anticiper les risques ciguatériques potentiels grâce à des campagnes mensuelles : « **Echelle 1 de risque** » ;
- II. L'évaluation de la toxicité de « poissons sentinelles » à différents niveaux de la chaîne alimentaire pour établir le risque avéré déjà présent ou émergent, grâce à des campagnes annuelles : « **Echelle 2 de risque** ».

I. SUIVI DES MICRO-ORGANISMES

A. PRINCIPE GÉNÉRAL

Deux plongeurs sont chargés des récoltes en plongée libre ou en scaphandre autonome selon les sites et les observations. Généralement, les stations sont situées le long de la frange côtière sur une profondeur de 50 cm à 2 m. Les prélèvements sont traités *in situ* (étapes d'agitation et de tamisage ; Figure 6) et les observations réalisées au laboratoire à l'aide d'un microscope optique.

Lors des premières campagnes de suivi (2005-2007), les missions étaient organisées tous les 2 mois en saison froide (octobre à mars) et tous les mois en saison chaude (avril à septembre). Depuis 2007, les missions de suivi des micro-organismes sont réalisées tous les mois. En effet, l'adoption de cette fréquence permet de couvrir la variabilité de la toxicité des populations benthiques fixées sur des substrats (macro-algues et débris coralliens)

et en particulier les cyanobactéries dont les dynamiques ne sont pas connues.

Les campagnes de prélèvement concernant le suivi mensuel des micro-organismes sont menées sur une journée.

B. STRATEGIE D'ÉCHANTILLONAGE

Le plan d'échantillonnage actuel a été progressivement mis en place. En effet, à l'origine des études, seule la Baie du Prony était suivie où 8 stations avaient été sélectionnées. En 2007, 4 sites ont été ajoutés au réseau afin de tenir compte des zones de pêche ciblées par la population locale ; au total on a dénombré 12 stations mensuelles.

Depuis 2011, 2 autres sites ont été ajoutés et ainsi le réseau de surveillance est, à présent, réalisé sur **14 stations** de suivi mensuel réparties dans toute la région sud, principalement en Baie du Prony, mais également en Baie Kué et à Port Boisé (Tableau 2 et Figure 4).

Tableau 2 : Liste des stations suivies : zone, nom et coordonnées GPS (référentiel WGS84) et année d'intégration dans le suivi.

Code	Zone	Nom de la station	Caractéristique	Latitude	Longitude	Année
CIG 01	Baie Kué	Baie Kué	Baie à forte sédimentation	-22°20,951	166°59,083	2011
CIG 02	Port Boisé	Port Boisé	Baie à faible sédimentation	-22°21,449	166°58,051	2007
CIG 03	Récif Prony	Récif Prony	Référence	-22°23,813	166°52,937	2007
CIG 04	Récif Prony	Récif Prony intérieur	Référence	-22°23,564	166°53,014	2007
CIG 05	Baie du Prony	Bonne Anse	Référence	-22°23,293	166°53,518	2005
CIG 06	Zone du port	Proximité port	Construction port-digue	-22°21,452	166°53,793	2005
CIG 07	Zone du port	Port	Construction port-digue	-22°21,260	166°53,567	2005
CIG 08	Zone du port	Tuyau	Construction digue	-22°20,933	166°53,365	2007
CIG 09	Zone du port	Vieux wharf	Construction port-digue	-22°20,585	166°52,991	2005
CIG 10	Baie du Prony	Plage	Référence	-22°20,293	166°52,608	2005
CIG 11	Baie du Prony	Creek Rade Nord	Baie à forte sédimentation	-22°19,911	166°52,657	2011
CIG 12	Baie du Prony	Ilot Gabriel	Référence	-22°19,912	166°52,065	2005
CIG 13	Baie du Prony	Rade Nord	Référence	-22°20,610	166°51,926	2005
CIG 14	Baie du Prony	Face Casy	Référence	-22°22,018	166°49,852	2005

Les sites de prélèvements ont été sélectionnés en fonction de différentes particularités :

- Deux sites au niveau de la Baie Kué, témoin des forts apports sédimentaires potentiellement variables liés aux infrastructures minières situées en amont (CIG 01) et de Port Boisé, où très peu d'altération due à l'empreinte anthropique est recensée (CIG 02¹) ;
- Deux sites dans la Baie du Prony, en zone extérieure : CIG 03, CIG 04 (*références*) ;
- Un site dans la Baie du Prony ne subissant aucune pression directe liée à l'usine : CIG 05 (*référence*) ;
- Quatre sites entourant les zones d'implantation des infrastructures portuaires : CIG 06, CIG 07, CIG 08, CIG 09 ;
- Trois sites dans la Rade du Creek Nord, témoins de l'écosystème particulier de cette anse soumise aux apports d'eau douce et terrigènes de la rivière mais ne subissant pas de perturbations directes liées au port : CIG 10, CIG 11, CIG 12 (*références*) ; il est à noter que la

¹ Entre 2005 et 2010, la zone de Port Boisé comportait 3 stations ponctuelles de prélèvement (« 12 », « 13 », « 14 »). Après 2011, ces stations ont été remplacées par une station unique CIG02.

station CIG 11 peut être soumise aux potentielles pollutions du complexe industriel de VNC et de Prony Energies ;

- Deux sites situés dans la Baie du Prony sans perturbations directes de l'usine : CIG 13 et CIG 14 (références).

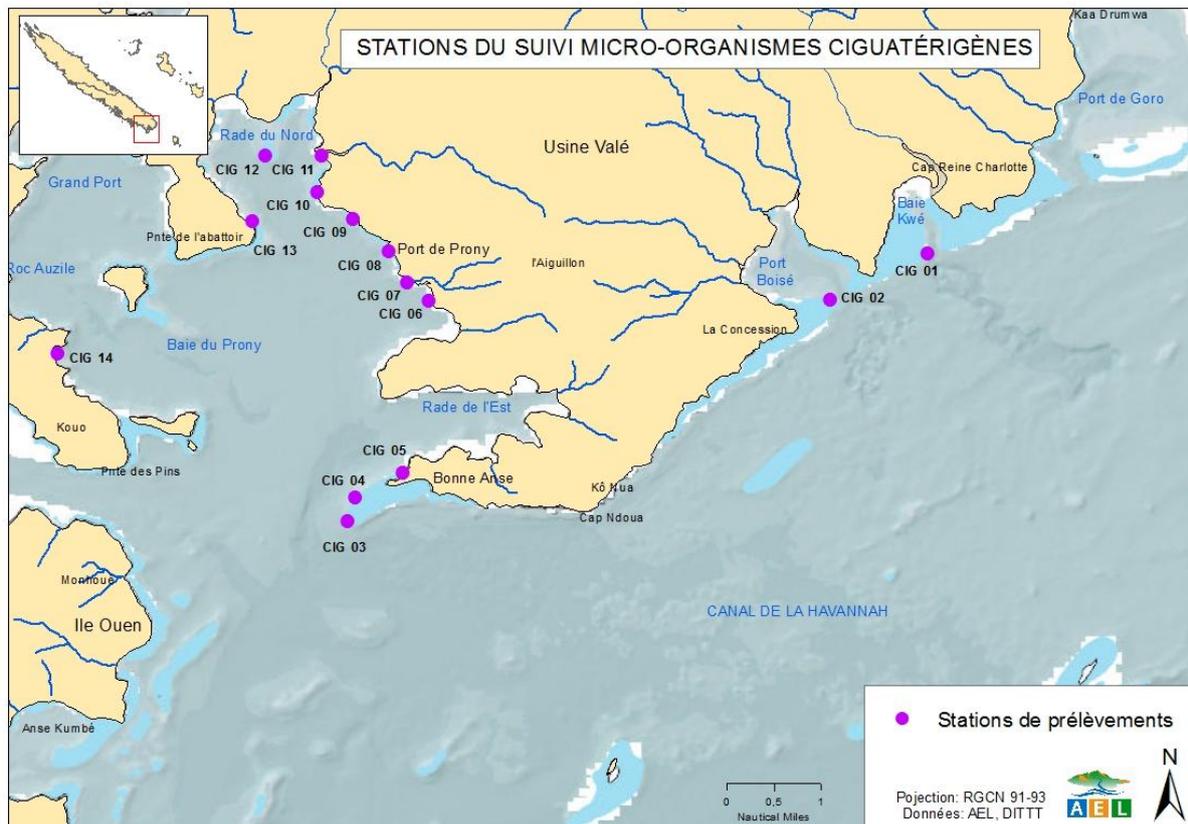


Figure 4 : Carte du réseau de stations pour le suivi des micro-organismes. (en bleu zone de récif corallien).

C. MÉTHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

Comme spécifié précédemment, outre les dinoflagellés, les recherches sur le phénomène environnemental de la ciguatera ont montré que certaines cyanobactéries de l'ordre des Oscillatoriales peuvent être aussi à l'origine de la contamination des poissons ou des mollusques filtreurs (Laurent *et al.*, 2008 ; Golubic *et al.*, 2010 ; Kerbrat, 2010).

Ainsi depuis début 2006, la recherche des populations de cyanobactéries et l'évaluation de leur toxicité sont intégrées dans le suivi des micro-organismes, conjointement au suivi classique des dinoflagellés.

a) DINOFLAGELLÉS

Le protocole de suivi des dinoflagellés est issu de la méthodologie utilisée par le Laboratoire des Micro-algues Toxiques de l'Institut Louis Malardé (Papeete, Tahiti), laboratoire de référence en matière de suivi environnemental ciguatérique (Chinain *et al.*, 1999).

Brièvement, le protocole consiste pour chaque station, en deux prélèvements de macro-algues (algues-supports) distants d'environ 20 à 50 m. Récoltées dans des sacs en plastique, les algues sont alors agitées vigoureusement afin de décrocher les dinoflagellés de leur support (Figure 5). L'eau de mer chargée de micro-organismes est ensuite filtrée sur des tamis de porosités décroissante afin de collectées des fractions selon la taille moyenne des cellules de dinoflagellés ciblés (20 et 45 μm). Les fractions sont ensuite récupérées et conservées pour être observées au microscope optique (Figure 6). Les observations permettent de caractériser :

- les populations de dinoflagellés, avec 4 classes de quantification sur une échelle de 0 à 3 ;
- la diversité spécifique du prélèvement benthique, avec 4 classes de diversité notées de 0 à 3 ;
- la présence ou non de cyanobactéries, dans l'échantillon prélevé, avec également 4 classes qualitative de 0 à 3.

Pour les dinoflagellés, une concentration de 1 000 cellules/g d'algues-supports traduit un stade d'efflorescence (Chinain *et al.*, 1999). Ainsi, la *classe 0 de quantification* correspond à l'absence de cellule, la *classe 1* à un maximum de 99 cellules/g d'algues, la *classe 2* de 100 à 999 cellules/g d'algues et la *classe 3* à plus de 1 000 cellules/g d'algues-supports.

En cas d'efflorescence importante de dinoflagellés ($n > 1000$ cellules/g d'algues), une récolte plus abondante dans les 7 jours après la première collecte est effectuée en vue d'analyses toxicologiques (bioessais). Il s'agit d'extraire les ciguatoxines selon la méthodologie décrite par Laurent *et al.* (2008) et de procéder à des tests de cytotoxicité (cf Section II.B).



Figure 5 : Exemples de macro-algues supports des dinoflagellés : *Halimeda*, *Turbinaria* et *Dictyota*.

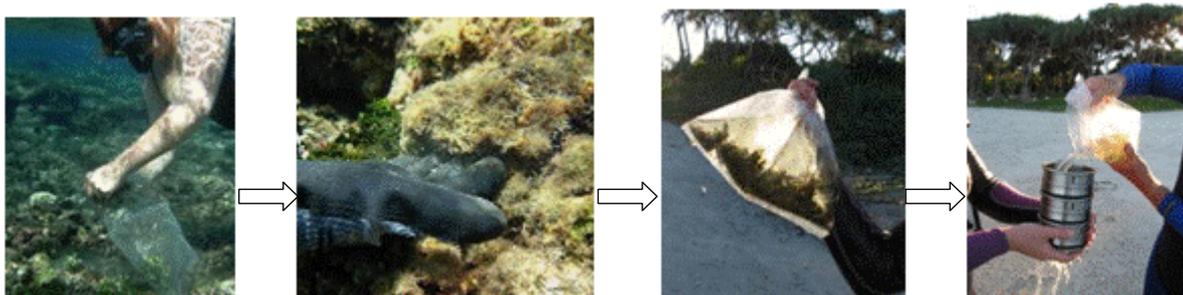


Figure 6 : Synthèse du protocole de prélèvement des micro-organismes : prélèvement manuel en plongée et filtration après extraction des micro-algues.

Les populations de cyanobactéries qui sont également observées et dénombrées qualitativement dans le même échantillon, sont rapportées à la diversité microbologique globale à des fins d'évaluation de l'« état de santé » du milieu (Kerbrat, 2010). Cette confrontation s'effectue de manière relative en prenant en compte des stations de références présentant une riche diversité (*classe 3 de diversité*, par exemple CIG13 ou CIG14) et la station examinée présentant des cyanobactéries (*classe qualitative 3*, par exemple CIG07). L'expertise de

l'observateur permet d'apporter une appréciation complémentaire afin de caractériser au mieux le milieu naturel.

Remarque : pour les cyanobactéries les observations sont effectuées sur un dépôt de 20 µL d'échantillon. La classe 0 correspond à l'absence de trichome (rangées de cellules bactériennes constituant le filament de la cyanobactérie), la classe 1 est assimilée à la présence de quelques trichomes ($n < 5$), la classe 2, montrent un nombre élevé de trichomes ($n > 5$), et la classe 3 est définie par une densité de trichomes dominante.

b) CYANOBACTÉRIES

Lorsque, *in-situ*, des tapis cyanobactériens sont observés sur de grandes étendues sur les fonds (surface > 5 m²), les cyanobactéries sont récoltées en quantité suffisante pour pouvoir évaluer leur potentiel toxique. Les micro-organismes sont alors conservés à -20°C jusqu'à la phase d'extraction des toxines telle que décrite par Kerbrat (2010) ; le test de cytototoxicité étant le même que précédemment (cf. : Section II.B).

Pour des quantités dont la surface est inférieure et si leur présence est cependant remarquable, seul un prélèvement manuel est effectué afin d'identifier l'espèce présente.

D. VALEUR DE RÉFÉRENCE

A l'heure actuelle, il n'existe pas de valeur de référence officielle permettant de définir le degré de risque ciguatérique dans une zone d'étude. Cependant, en 2011, un travail de synthèse des données récentes obtenues par de l'UMR 152 (IRD), recoupées à la fois par des données empiriques et provenant de la littérature, a permis de proposer le référentiel du risque qui est présenté dans le « *Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin* » (Beliaeff et al., 2011).

Le Tableau 3, extrait du guide, présente les observations réalisées sur les échantillons de populations de dinoflagellés et de cyanobactéries. Ainsi, les indicateurs sont : l'identification des espèces, leur présence ou absence, leur densité et enfin, la détermination de leur potentiel ciguatoxique.

Tableau 3 : Echelle 1 du « risque ciguatérique » basé sur la surveillance des micro-organismes (extrait du Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin ; Beliaeff et al., 2011).

	Dinoflagellés Genre <i>Gambierdiscus</i> ou <i>Prorocentrum</i> ou <i>Ostreopsis</i>	Cyanobactéries <i>Oscillatoriales</i>	Echelle 1 de risque
Identification	Absence	Absence	0
	Présence	Présence	1
Quantification	< 1000 cellules/g d'algues	< 5 m ²	2
	> 1000 cellules/g d'algues	> 5 m ²	3
Potentiel toxique	Atoxique	Atoxique	4
	Ciguatoxique	Ciguatoxique	5

II. SUIVI DE LA TOXICITÉ DES POISSONS

A. COLLECTE

a) FRÉQUENCE ET ZONES DE COLLECTE

La détermination du niveau de toxicité des poissons a été réalisée pour des spécimens pêchés au cours des trois campagnes annuelles de 2008, 2009 et 2012.

Lors des deux premières missions, trois zones ont été délimitées, au niveau : du port commercial de Vale-NC (Z1), du récif Prony (Z2, Bonne Anse) et de Port Boisé (Z3).

En 2012, les zones de collecte ont été définies afin de répondre à une double contrainte d'analyse **des ciguatoxines et des métaux** incorporés dans les chairs de poissons, selon le cahier des charges de Vale-NC. De ce fait, la zone du port de commerce, qui ne figure pas dans la liste des sites de pêche habituels, n'a pas été retenue.

Ainsi, un ensemble de 5 zones à surveiller a été défini dans le secteur sud-est de la Baie du Prony (Figure 7) :

- la pointe de Bonne Anse, comprenant 2 stations de pêche situées sur le récif Prony (Zone 1) ;
- la Baie Kué, comprenant 3 stations de pêche (Zone 2) dont 1 est localisée à Port Boisé ;
- la zone du Canal de la Havannah, comprenant 1 station (Zone 3) ;
- la côte sud de la Port de Goro, comprenant 1 station (Zone 4) ;
- la côte est de l'Île Ouen, comprenant 2 stations de pêche (Zone 5).

b) SÉLECTION DES ESPÈCES SENTINELLES

Afin d'évaluer la toxicité de la chaîne pisciaire, des espèces indicatrices de l'ampleur et de l'évolution du phénomène ciguatérique pour un temps donné ont été sélectionnées selon les critères suivants :

- Niveaux trophiques différents (3 en 2008-2009 et 2 en 2012) : herbivores, malacophage (2008 et 2009) et carnivores ;
- Espèces représentatives des sites sélectionnés ;
- Espèces consommées par les populations ;
- Espèces présentes dans chacune des zones ;
- Prises par espèces en nombre suffisant (n = 5 à 10).

Ainsi, en 2008 et 2009, sur chacune des 3 zones, un minimum de 5 spécimens par niveau trophique a été ciblé (si possible appartenant à une même espèce) soit 15 poissons constituant un total de 45 individus à analyser (Kerbrat, 2010).

En 2012, environ 10 individus par régime trophique (herbivores et carnivores) ont été prélevés sur 5 zones, soit un total exact de 94 poissons.

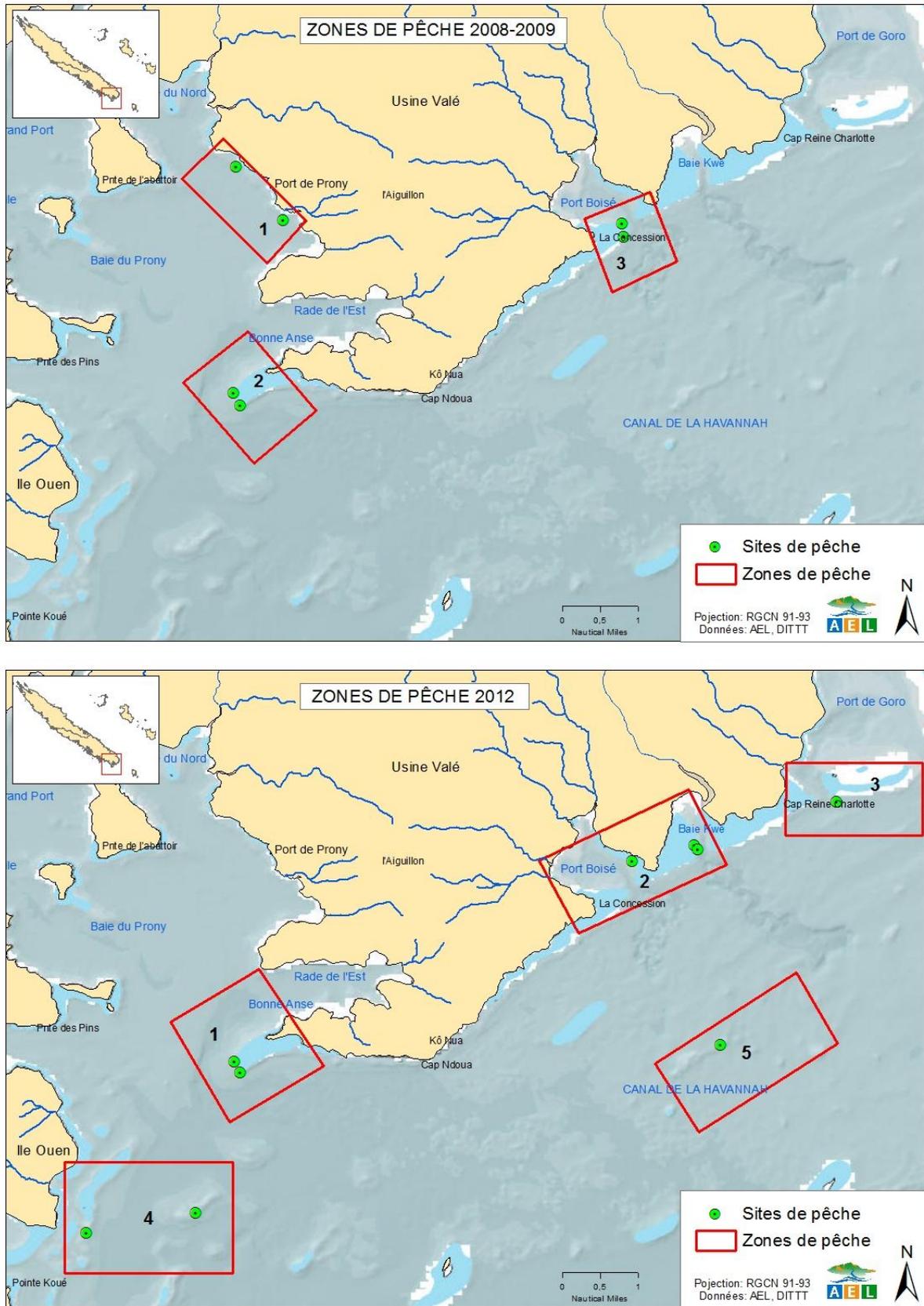


Figure 7 : Cartes des zones de pêches des poissons pour l'analyse toxicologique en 2008 et 2009 (haut) et 2012 (bas).

B. ANALYSE DE LA TOXICITÉ

a) TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les spécimens ont été chassés au fusil sous-marin en plongée libre. Une fois pêchés, après identification de l'espèce, les poissons ont été pesés frais et mesurés (longueur à la fourche). Les deux filets de chaque spécimen ont été prélevés, puis transférés dans des sachets individuels référencés et conservés au congélateur jusqu'au traitement analytique.

b) DOSAGE PAR TEST DE CYTOTOXICITÉ

Les toxines ciguatériques ont été extraites par une méthode chromatographique d'extraction en phase solide mise au point à l'Institut Louis Malardé en 2000 et validée par le « *test souris* » et le « *test radio-ligand* » (Darius *et al.*, 2007). Cette méthode d'extraction permet d'isoler de la chair des poissons 3 aliquotes à partir de 5 g de broyat de filet susceptible de contenir les toxines ciguatériques par polarités différentielles. La phase mobile est constituée de solvants (méthanol aqueux) de polarité décroissante et la phase stationnaire d'une colonne de silice en phase inverse C18. La dernière fraction d'élution (méthanol : eau à 90 : 10) susceptible de contenir les toxines ciguatériques (ciguatoxines) est testée *in vitro* (test de cytotoxicité).

Ce test de cytotoxicité (ou *bioessai*) a été développé spécifiquement pour la détection des toxines agissant sur les canaux sodiques sensibles au potentiel qui est le mode d'action des toxines ciguatériques (Lehane & Lewis, 2000 ; Kumar-Roine, 2008). La sensibilité de ces canaux se trouve augmentée grâce à l'utilisation des deux composants dits potentialisateurs de membrane : l'ouabaïne (O), intervenant dans la perméabilité des cellules et la vératridine (V), stimulant l'entrée des ions sodium (Na^+) dans la cellule. L'action combinée de ces deux toxines réduit la viabilité cellulaire par l'entrée massive d'ions Na^+ dans le compartiment intracellulaire. Le test se déroule en trois étapes :

- i) *Ensemencement des cellules* : Une solution de cellules ($2,5 \times 10^5$ cellules/mL) est déposée dans des microplaques et incubées 24 h à 37°C ;
- ii) *Mise en contact avec les extraits* : Les extraits purifiés sont solubilisés dans du méthanol et testés en triplicat ($n = 3$) à la concentration de 313 μg équivalent de chair par millilitre de solution. Les extraits sont testés soit en présence, soit en absence des potentialisateurs (O : 500 μM ; V : 50 μM). Les microplaques sont incubées à 37°C pendant 14 h.
- iii) *Lecture des résultats* : La viabilité cellulaire est quantifiée par la méthode colorimétrique au MTT² (Berridge *et al.*, 1993) après 14 h d'incubation. La lecture de l'absorbance (490 nm) est proportionnelle au nombre de cellules vivantes et donc, inversement proportionnelle à la toxicité de l'extrait. Les résultats sont exprimés en pourcentage de viabilité cellulaire par rapport au témoin.

c) VALEUR DE RÉFÉRENCE ET VALIDITÉ DES RÉSULTATS

Le seuil de détection du test est de l'ordre du **picogramme de toxines par gramme de chair** ; ce niveau est inférieur à la teneur en toxines minimale estimée pour déclencher les premiers symptômes ciguatériques chez l'Homme qui est de l'ordre de **0,1 ng/g** (Hamilton *et al.*, 2009). Ce seuil de sensibilité a été évalué en tenant

² MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) = indicateur coloré.

compte de nombreuses variables comme celles propres à l'Homme (sensibilité, âge, taux de toxines accumulées...) ou propres aux toxines ingérées (profil toxinique du poisson, toxicité des ciguatoxines...).

La calibration du test de cytotoxicité a permis de définir une gamme de toxicité comprenant les trois classes suivantes : (i) non toxique (Atox), (ii) moyennement toxique (Tox+) et (iii) fortement toxique au-delà du seuil symptomatique chez l'Homme (Tox++) (Tableau 4 ; Kerbrat, 2010) ; les poissons répertoriés dans la classe fortement toxique (Tox++) sont donc susceptibles d'engendrer des symptômes chez l'Homme, tandis que les poissons caractérisés « moyennement toxique » (Tox+) sont porteurs de toxines ciguatériques dont les teneurs ne provoqueraient pas de symptômes (Hamilton *et al.*, 2009).

Tableau 4 : Classes de toxicité des poissons attribuées par le test de cytotoxicité : Atoxique (Atox), moyennement toxique (Tox+) et fortement toxique (Tox++).

Classe de toxicité	Code	Viabilité cellulaire
Atoxique	ATox	> 80 %
Moyennement toxique	Tox +	[50% – 80%]
Fortement toxique	Tox ++	< 50%

Ensuite, les proportions de spécimens provoquant des symptômes chez l'Homme (Tox ++) sont calculées par régime trophique afin d'évaluer le niveau de l'« Echelle 2 de risque ». Ainsi, le

Tableau 5 précise le risque d'intoxication ciguatérique en fonction des proportions d'individus toxiques calculés sur deux niveaux trophiques.

Note : Le Tableau 5 « indicateur Echelle 2 du risque » fournit une information scientifique difficilement exploitable dans le cadre des suivis socio-environnementaux. Dans le futur, les données seront globalisées pour ne prendre en considération que l'ensemble des espèces, tout niveau trophique confondu. Une nouvelle version du tableau sera alors proposée dans une réactualisation du « Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie » (Bélieff *et al.*, 2011). Une refonte avec le Tableau 2 est également envisagée.

Tableau 5 : Echelle 2 du risque ciguatérique basé sur la surveillance de toxicité des poissons (extrait du Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin ; Beliaeff *et al.*, 2011).

	Poisson herbivore (ex: perroquet)	Poisson carnivore (ex: loche saumonée)	Echelle 2 de risque
Pourcentage d'individus fortement toxiques (Tox++)	<20	<20%	A
	20-50	20-50	B
	>50	>50	C

SYNTHÈSE DES DONNÉES

Depuis le début des programmes relatifs au suivi ciguatérique, au total 59 missions de récolte de micro-organismes (dinoflagellés et cyanobactéries) ont été menées ainsi que 3 missions pour la pêche de « poissons sentinelles ». Le Tableau 6 présente leur répartition saisonnière pour les années 2005 à 2012.

Tableau 6 : Nombre de missions mensuelles (micro-organismes : cellules colorées) et de missions annuelles (poissons) de 2005 à 2012 dans le cadre des programmes du suivi ciguatérique dans la région du Grand Sud.

Programme	Nb de missions	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
IRD-Goro-Nickel	2005												
	2006												
	2007												
IRD-Vale-Inco	2008				X								
	2009				X								
	2010												
AEL-OEIL	2011												
AEL-ValeNC	2012	X											
Total	60												

Cellules colorées : missions mensuelles du suivi des micro-organismes ; (X) : missions annuelles pour la récolte des poissons-sentinelles.

I. ECHELLE 1 DE RISQUE : SUIVI DES MICRO-ORGANISMES

De 2005 à 2012, les prélèvements de micro-organismes ont permis de suivre de manière relativement régulière leurs populations. Dans le présent rapport, l'ensemble des observations microscopiques réalisées depuis les premières investigations est synthétisé dans les deux tableaux en Annexe 3.

Les observations microscopiques de dinoflagellés et de cyanobactéries sont caractérisées par une classe de 0 à 3 quantifiant les cellules observées en densité croissante (Tableau 7).

Tableau 7 : Définition des classes caractérisant les observations microscopiques des dinoflagellés et cyanobactéries.

CLASSE	0	1	2	3
Dinoflagellés	0 cellule / g d'algues/débris	1-99 cellules / g d'algues/débris	100 à 999 cellules / g d'algues/débris	> 1 000 cellules / g d'algues /débris
Cyanobactéries	Absence de trichome (cellule de cyanobactérie filamenteuse)	Présence de quelques trichomes (n<5)	Présence de Trichomes (n>5)	Présence de trichomes très importante

Sur la majorité des stations, les observations *in situ* ne mettent pas en évidence d'évolution particulière de l'environnement des stations comme des fragilités ou des destructions coralliennes, ou des déséquilibres de l'écosystème comme la dominance de populations au détriment d'autres. Par contre, il a été observé que durant les suivis, deux stations ont subi des changements de configurations remarquables à savoir le port (CIG07) et la station située au niveau du point d'immersion du tuyau (CIG08) en Baie du Prony.

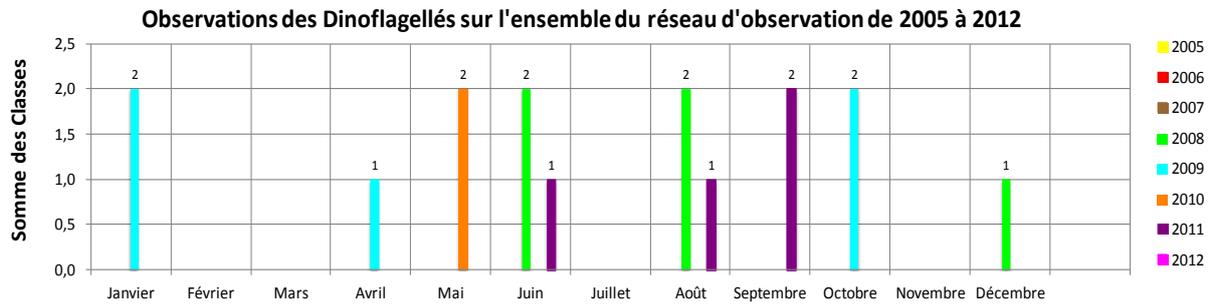
A. DINOFLAGELLÉS

Les observations microscopiques des populations de dinoflagellés depuis 2005 ont mis en évidence la présence naturelle de *Gambierdiscus* sur divers sites de toutes les zones : stations de référence ou stations des zones du port, de Bonne Anse, de Port Boisé ou de la Baie Kué entre 2008-2011 (Annexe 3). Au vu des faibles densités, leur toxicité n'a jamais dû être évaluée avec les outils d'analyse disponibles à savoir le test de cytotoxicité. Cependant, à ces niveaux de concentrations cellulaires, il est utile de préciser que ces populations de dinoflagellés ne présentent pas de risques de contamination de la chaîne pisciaire.

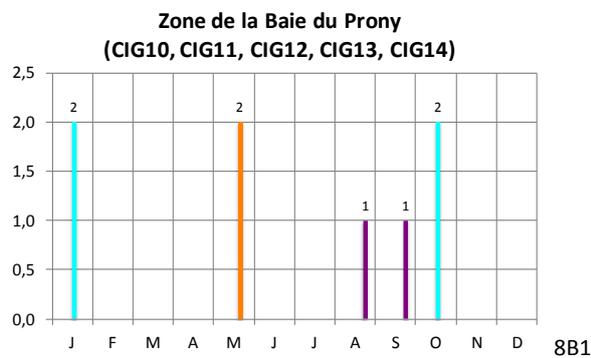
Remarque : *Seules les cyanobactéries semblent aujourd'hui être connues comme pouvant affecter d'autres organismes, notamment les mollusques.*

Les Figure 8 et Figure 9 synthétisent l'ensemble des observations annuelles d'apparition des dinoflagellés ciguatoxinogènes, d'une part, sur l'ensemble du réseau de suivi et d'autre part pour chacune des zones. Ces représentations montrent qu'entre 2005 et 2012, aucune efflorescence de dinoflagellés n'a été décelée dans le réseau de surveillance.

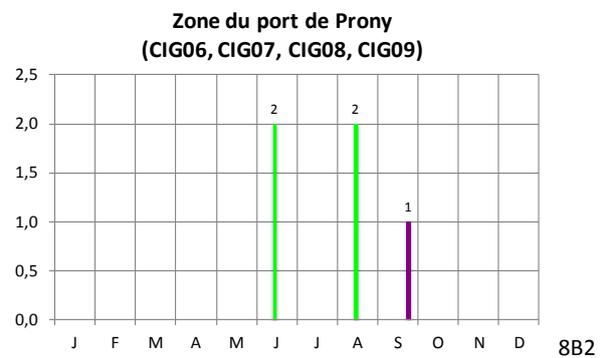
Les graphiques 8A et 9A (Figure 8 et Figure 9) représentent, respectivement, la somme et la moyenne des classes sur l'ensemble du réseau, pour les 8 années d'observations ; les dinoflagellés n'étant décelés que sporadiquement tout au long de la période de suivi comprise entre 2005 et 2012. En effet, leur densité est toujours inférieure à un stade d'efflorescence (classe < 3), les cellules de dinoflagellés pouvant être présentes sur toutes les zones surveillées, sans terrain favorable particulier. Enfin, pendant cette période, aucune cellule de dinoflagellés n'a été observée sur les 6 stations échantillonnées en Baie du Prony (CIG12, CIG13), zone du port (CIG06), à Bonne Anse (CIG03, CIG04) ni à Port Boisé (CIG02) (Annexe 3).



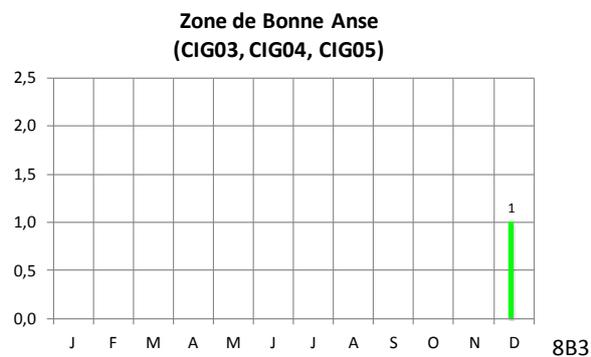
8A



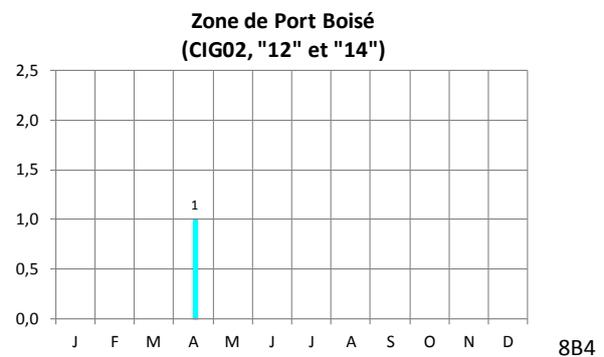
8B1



8B2

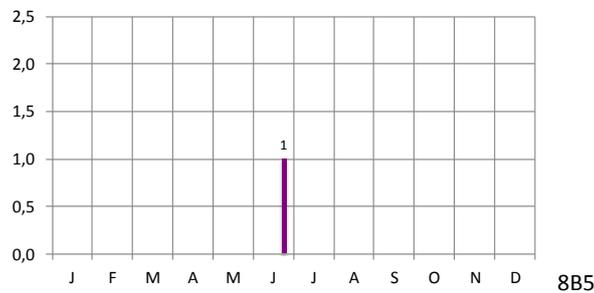


8B3



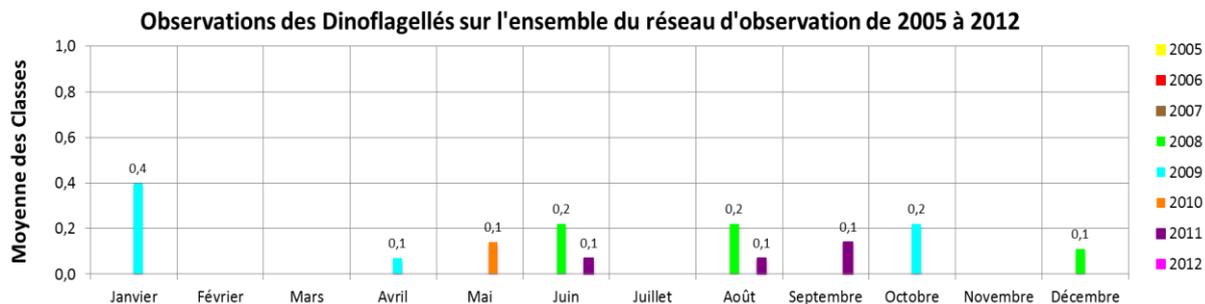
8B4

Zone de la Baie Kué (CIG01)

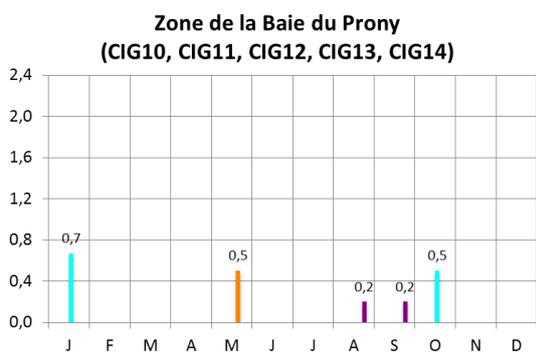


8B5

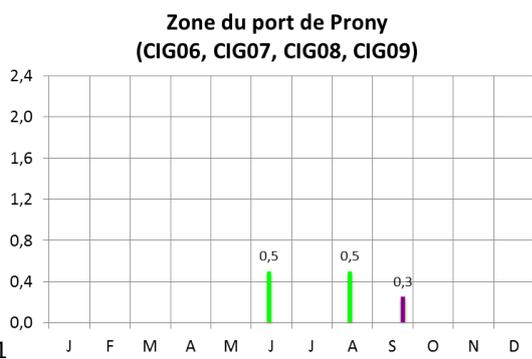
Figure 8 : Sommes des classes de quantification de dinoflagellés des observations microscopiques du réseau de stations réalisées de 2005 à 2012. Le graphique 8A représente les observations sur l'ensemble du réseau (somme de l'ensemble des stations par année) ; les graphiques 8B1 à 8B5 représentent les sommes des classes des observations par zone et par année : zone de la Baie du Prony (sans le port) (8B1), zone du port (8B2), zone de Bonne Anse (8B3), Baie de Port Boisé (8B4) et Baie Kué (8B5).



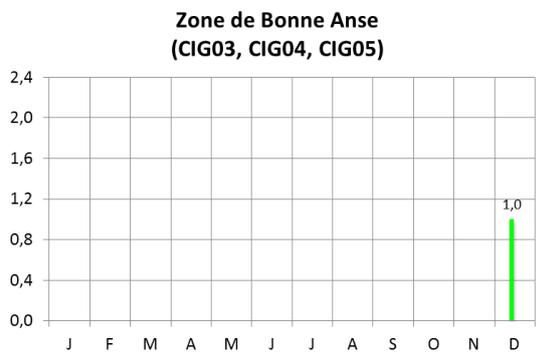
9A



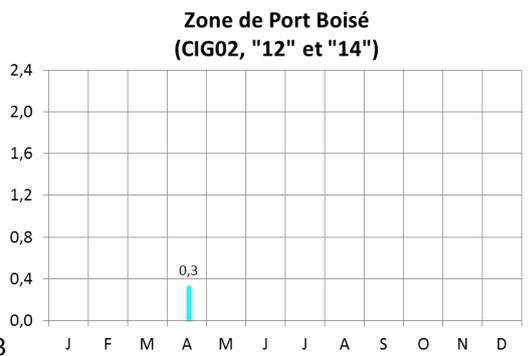
9B1



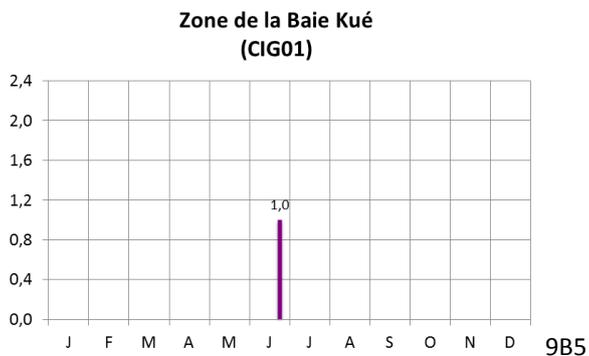
9B2



9B3



9B4



9B5

Figure 9 : Moyenne des classes de quantification de dinoflagellés des observations microscopiques du réseau de stations réalisées de 2005 à 2012. Le graphique 9A représente les observations sur l'ensemble du réseau (moyenne de l'ensemble des stations par année) ; les graphiques 9B1 à 9B5 représentent la moyenne des classes des observations par zone et par année : zone de la Baie du Prony (sans le port) (9B1), zone du port (9B2), zone de Bonne Anse (9B3), Baie de Port Boisé (9B4) et Baie Kué (9B5).

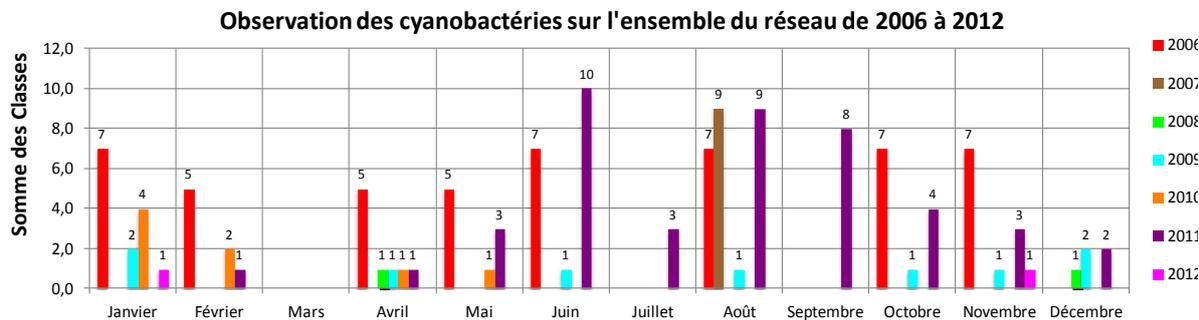
B. CYANOBACTÉRIES

1. OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES

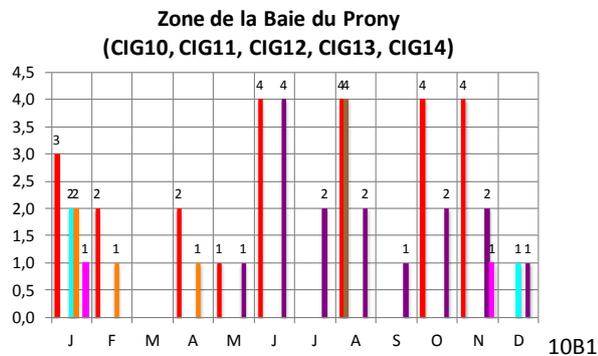
Rappel: depuis 2006, l'observation des cyanobactéries ciguatoxinogènes est intégrée dans les observations microscopiques des échantillons prélevés et tamisés.

La présence de cyanobactéries a été observée pour chaque campagne, de 2006 à 2012. Les observations microscopiques ont été synthétisées et regroupées (Figure 10, Figure 12 et Annexe 3) afin de présenter une vue d'ensemble de la fréquence annuelle d'apparition pour la totalité du réseau de suivi. Ainsi, on distingue les classes des stations totalisées et moyennées sur l'ensemble du réseau et les classes des stations totalisées et moyennées par zone.

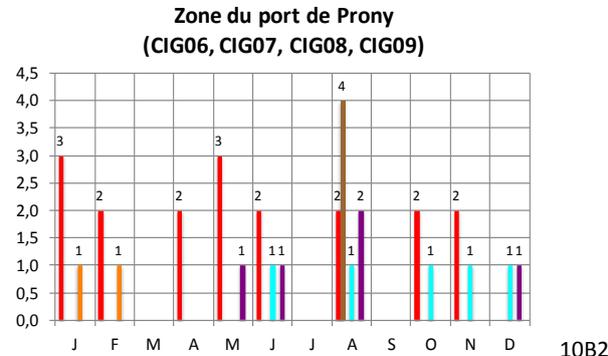
L'analyse globale sur les prélèvements montre que la présence des cyanobactéries filamenteuses sur l'ensemble des stations du réseau d'observation est constante de 2006 à 2012 (Figure 10, Figure 12). Toute espèce confondue, l'étude de la saisonnalité ne démontre pas de tendance commune entre ces années. En effet, leur développement ne semble pas être favorisé plus particulièrement par la saison chaude ou froide. Par contre, certaines années peuvent être plus ou moins favorables sans explication évidente. Par exemple, l'année 2006 présente une des densités de cyanobactéries parmi les plus élevées, à l'inverse en 2008 et 2012, cette même population montre une tendance à une forte diminution.



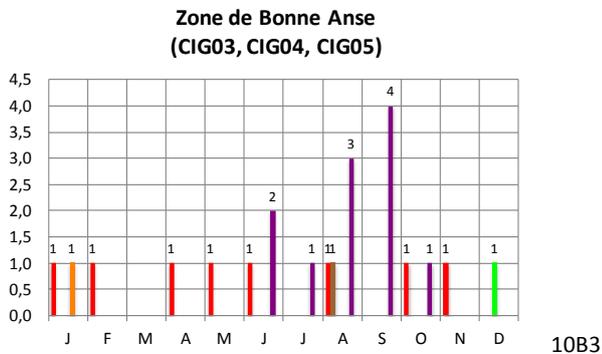
10A



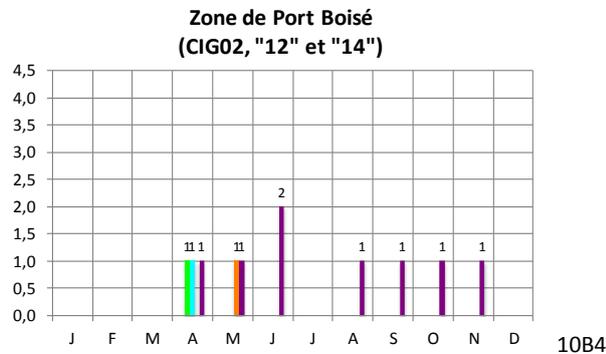
10B1



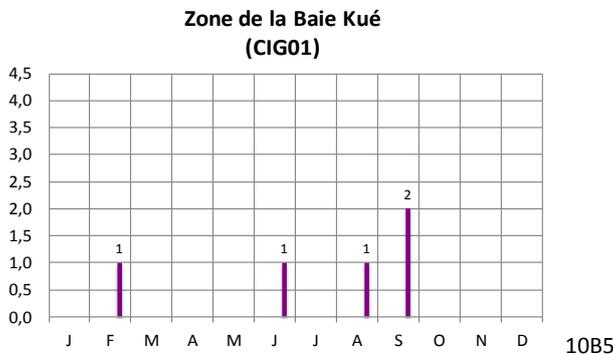
10B2



10B3

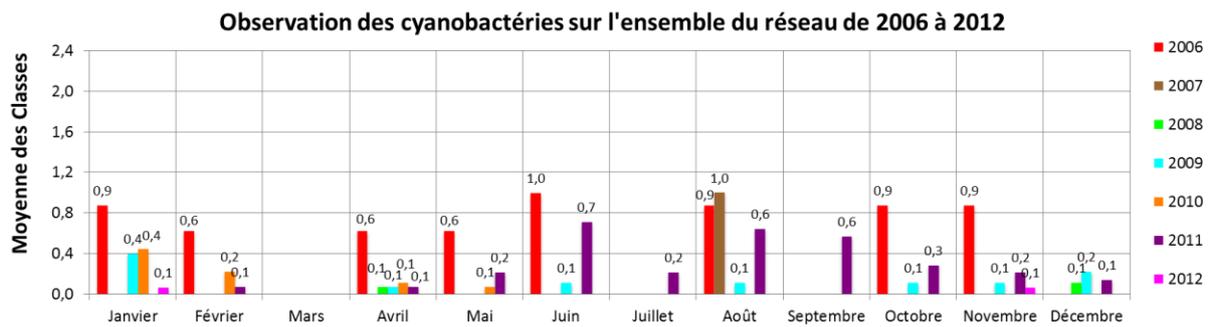


10B4

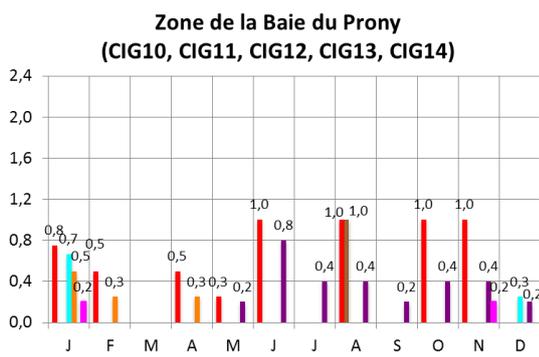


10B5

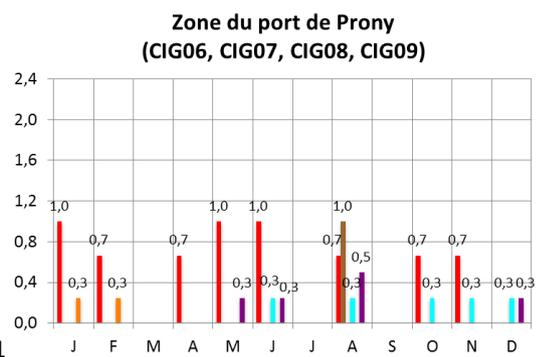
Figure 10 : Somme des classes de qualification de cyanobactéries des observations microscopiques du réseau de stations réalisées de 2006 à 2012. Le graphique 10A représente les observations sur l'ensemble du réseau (somme de l'ensemble des stations par année) ; les graphiques 10B1 à 10B5 représentent les sommes des classes des observations par zone et par année : Zone de la Baie du Prony (sans le port) (10B1), Zone du Port (10B2), Zone de Bonne Anse (10B3), Baie de Port Boisé (10B4) et Baie Kué (10B5).



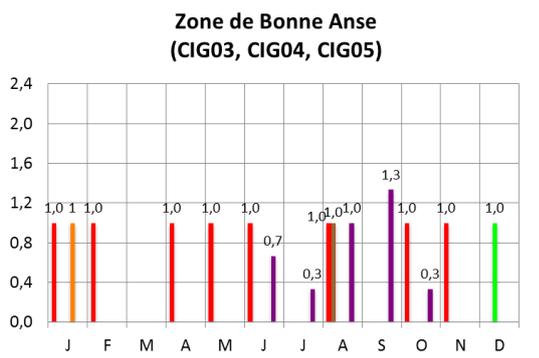
11A



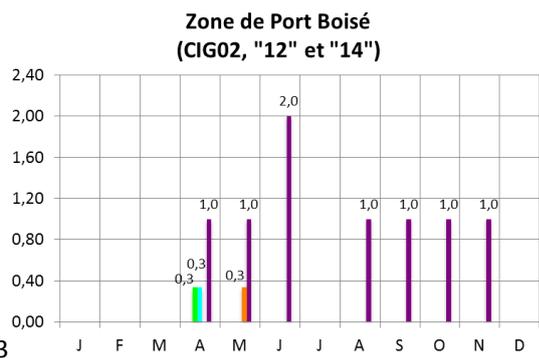
11B1



11B2

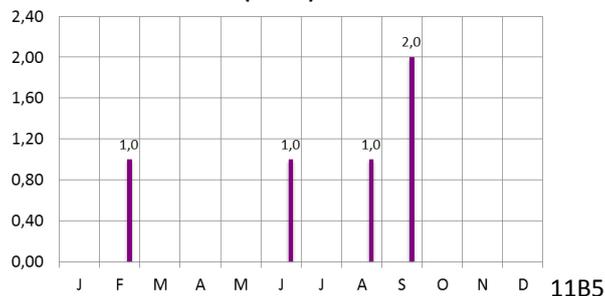


11B3



11B4

Zone de la Baie Kué (CIG01)



11B5

Figure 11 : Moyenne des classes de qualification de cyanobactéries des observations microscopiques du réseau de stations réalisées de 2006 à 2012. Le graphique 11A représente les observations sur l'ensemble du réseau (moyenne de l'ensemble des stations par année) ; les graphiques 11B1 à 11B5 représentent les moyennes des classes des observations par zone et par année : Zone de la Baie du Prony (sans le port) (11B1), Zone du Port (11B2), Zone de Bonne Anse (11B3), Baie de Port Boisé (11B4) et Baie Kué (11B5).

2. OBSERVATIONS IN SITU

a) DÉVELOPPEMENT NATUREL ET RESTREINT DE CYANOBACTERIES

La compilation des résultats concernant ces micro-organismes indique que sur la zone d'étude, des tapis cyanobactériens ont été observés, recouvrant des surfaces plus ou moins importantes. En effet, la présence de cyanobactéries majoritairement filamenteuses est constatée régulièrement (Figure 12 : photos 105, 106, 107 et 108 extraites de Kerbrat, 2010). Constituant généralement des tapis restreints, de quelques cm² à maximum 1m², elles sont naturellement présentes en Baie du Prony (Bonne Anse - CIG 05, site de la plage - CIG10, îlot Gabriel - CIG 11, Baie Nord - CIG 13 et Ilot Casy - CIG 14) et à la passe de Port Boisé (CIG 02).

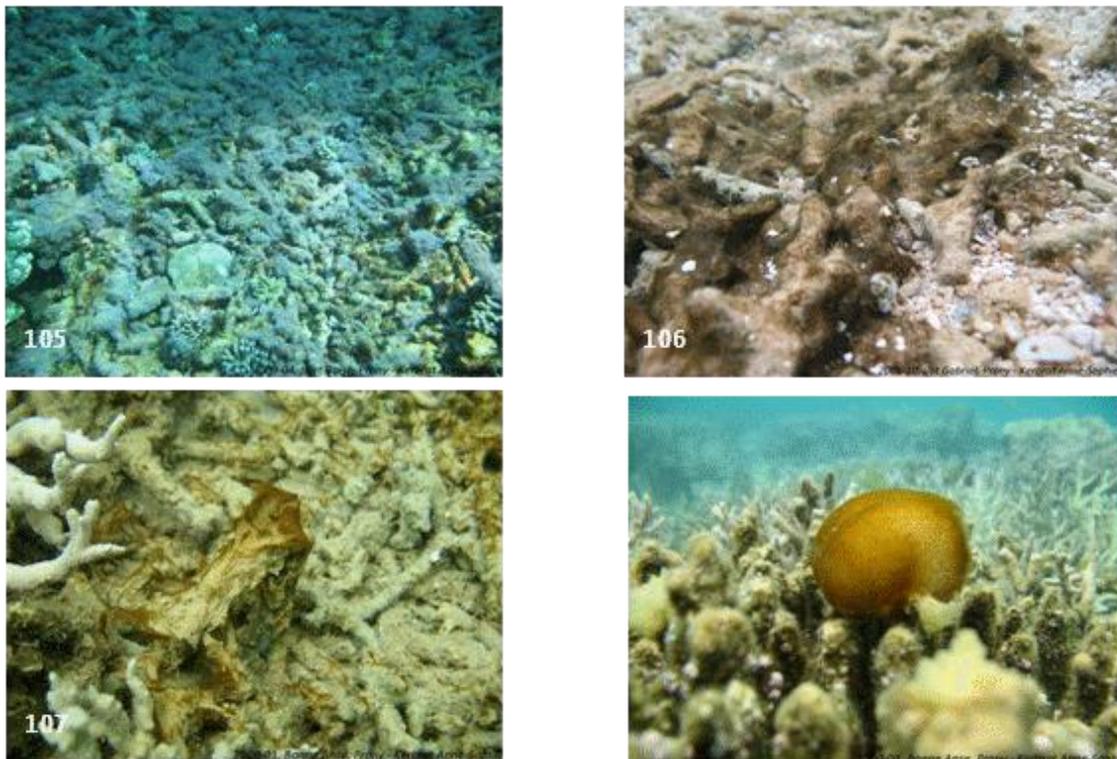


Figure 12 : Vues *in situ* de différentes cyanobactéries de l'ordre des Oscillatoriales observées entre 2008 et 2009 à Port Boisé (105), Bonne Anse (106) et l'îlot Gabriel (107 et 108). Naturellement présentes, leurs étendues ne dépassent pas 1 m².

b) DÉVELOPPEMENTS IMPORTANTS DE CYANOBACTÉRIES

Sur l'ensemble du suivi de 2006 à 2012, des proliférations ont été observées uniquement sur deux sites en 2009. Dans la Baie du Prony, deux espèces de cyanobactéries filamenteuses, *Hydrocoleum lyngbyaceum* et *Hydrocoleum glutinosum* sont apparues de manière importante (surfaces occupées > 5m²) au niveau du port (CIG 07) en saison froide et *H. cantharidosmium* à Bonne Anse (CIG 05) (Figure 13).

L'étendue et la densité de ces proliférations ont permis d'effectuer des prélèvements afin d'analyser leur potentiel toxique. Ainsi, il s'avère que ces trois espèces d'Oscillatoriales montrent bien un fort potentiel toxique de nature ciguatérique associés à une toxicité de type paralysant (Kerbrat, 2010).

La présence de ces cyanobactéries filamenteuses est naturelle mais leurs proliférations sont favorisées par des

perturbations environnementales. Au niveau des sites où sont observés de tels développements, il est possible d'émettre des hypothèses quant à la dégradation du milieu : endiguement au niveau du port ou mouillage d'ancre à répétition à Bonne Anse.

Comme cité plus haut, la zone du port à Prony (CIG 07) a vu se développer de larges tapis cyanobactériens sur des surfaces remaniées par l'implantation des infrastructures portuaires (Figure 13). A ce jour, ces tapis ne sont plus visibles et le substrat détritique est recouvert de Phéophycées (*macroalgues*) du genre *Dictyota* (Figure 13 et Figure 14). Comme le montrent les prises de vues sous-marines à 3, 7 et 10 m (Figure 14), l'écosystème retrouve un équilibre avec la présence de diverses macroalgues du genre *Halimeda* et *Dictyota*. Les cyanobactéries peuvent constituer les populations pionnières de transition avant la recolonisation du substrat par les macroalgues qui tendrait vers un retour à l'équilibre (Golubic *et al.*, 2010), ou pourquoi pas vers un phénomène écotoxicologique de type ciguatera avec un développement de dinoflagellés.



Figure 13 : Vues in situ de la zone du port en mai 2010 où a été observé de juin 2009 à février 2010 les tapis composés d'*H. lyngbyaceum* : les débris coralliens se recouvrent de macro-algues dont la Phéophycée du genre *Dictyota*.

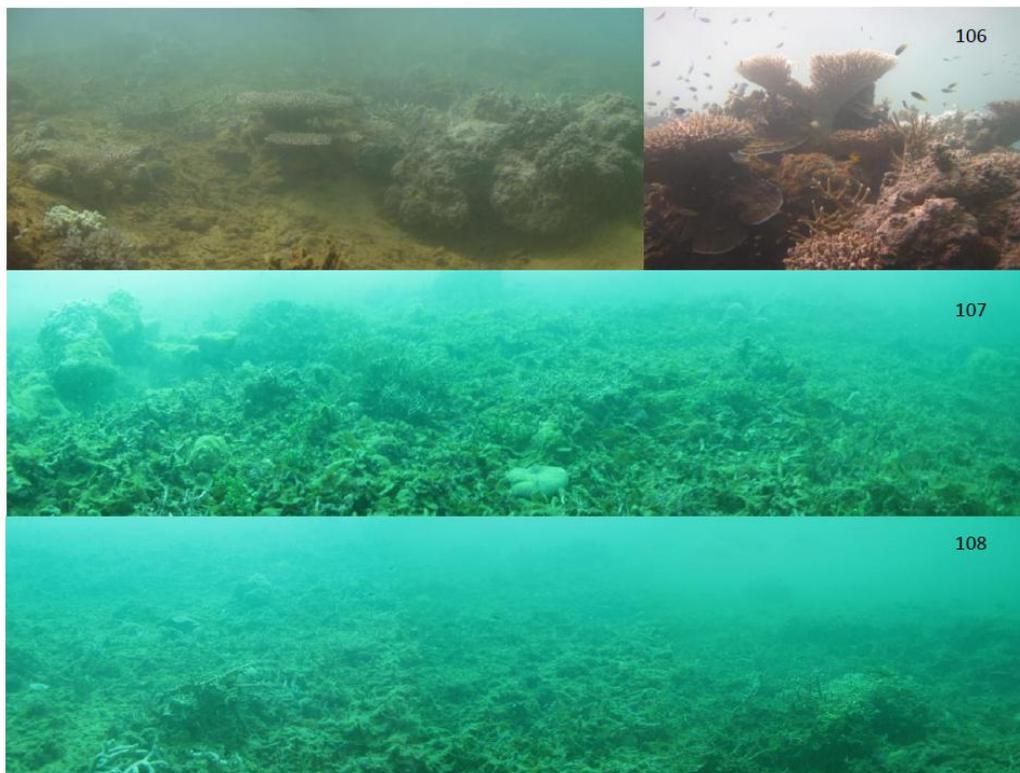


Figure 14 : Vues panoramiques *in situ* de la station du port de Prony (CIG 07) à 3, 7 et 10 m, respectivement photos 106, 107 et 108 (avril 2012).

C. SYNTHÈSE : ECHELLE 1 DE RISQUE

Les observations réalisées pendant la période 2005-2012 indiquent :

- l'absence des **dinoflagellés ciguatériques** à l'état d'efflorescence sur l'ensemble du réseau de suivi ;
- leur présence à l'état naturel sur 8 des stations de surveillance du réseau (CIG01, CIG07, CIG08 et CIG09 y compris les stations de référence CIG 05, CIG10, CIG11 et CIG14) ;
- la présence ubiquiste des **cyanobactéries ciguatériques** à développement naturel et « restreint » sur la presque totalité de l'ensemble du réseau de suivi ;
- la présence à l'état d'efflorescence de cyanobactéries ciguatériques durant l'année 2009 sur les stations CIG05 et CIG 07. Les tests de cytotoxicité réalisés sur ces cyanobactéries ont confirmé leur fort potentiel de toxicité lié aux ciguatoxines

Ainsi, d'après le protocole d'évaluation du risque ciguatérique des micro-organismes, l'ensemble des stations suivies présente un risque de Niveau 1 pour les années de 2005 à 2007 et 2010 à 2012, tandis que pour l'année 2009, celui-ci s'est élevé au Niveau 5, mais uniquement sur deux stations CIG 05 & CIG 07, respectivement situées dans la zone de Bonne Anse et celle du port de commerce.

Le suivi des micro-organismes permet, en cas de présence de souches toxiques en nombre suffisant, de prévenir la potentielle contamination de la chaîne trophique. Les concentrations en toxines dans les chairs de poisson peuvent atteindre un seuil symptomatique chez les herbivores en quelques mois après une efflorescence (Dickey & Plakas, 2010) et persister de 10 à 20 ans dans ces organismes.

II. ECHELLE 2 DE RISQUE : TOXICITÉ DES POISSONS, VECTEURS DE TOXICITÉ

Tous les résultats d'analyses concernant les tests de toxicité sont regroupés dans l'Annexe 4

Rappel: *Le suivi des populations de micro-organismes ciguatoxinogènes permet d'anticiper le risque ciguatérique dans la zone d'étude, tandis que le suivi des poissons permet d'obtenir des informations quant à l'intensité et l'évolution du phénomène (émergent ou en phase de décroissance).*

A. COLLECTE

Au total, 190 poissons ont été analysés par le test de cytotoxicité (Tableau 8 et 9). Les régimes trophiques des poissons pêchés sont carnivores et herbivores pour les trois campagnes. En 2008 et 2009, les malacophages et les omnivores constituent un troisième niveau trophique collecté (voir Annexe 4).

B. ANALYSES TOXICOLOGIQUES, TEST DE CYTOTOXICITÉ

a) TOXICITÉ GLOBALE ET PAR ZONE

Rappel : La calibration du test de cytotoxicité a défini une gamme de toxicité comprenant trois classes de toxicité : (i) **non toxique** (atoxique), (ii) **moyennement toxique** (Tox+) et (iii) **fortement toxique** au-delà du seuil symptomatique chez l'Homme (Tox++) (Tableau 4 ; Kerbrat, 2010). Les poissons répondant « fortement toxique » (Tox++) sont donc susceptibles d'engendrer des symptômes chez l'Homme, tandis que les poissons caractérisés « moyennement toxique » (Tox+) sont porteurs de toxines ciguâtériques dont les teneurs ne provoqueraient pas de symptômes (en deçà du seuil de sensibilité) (Hamilton et al., 2009).

Dans l'évaluation du risque, seuls les poissons caractérisés de Tox++ sont comptabilisés, les proportions de poissons porteurs de toxines dont la teneur est en-deçà du seuil de sensibilité (Tox+) permettent d'évaluer l'évolution du risque.

Globalement, en 2008 et 2009, toutes zones confondues, les analyses démontrent que le niveau « fortement toxique » (Tox++) est de 4% en 2008 et de 2% en 2009 (Tableau 8) ; ces valeurs sont comparables à celles obtenues à Ouvéa (Kerbrat, 2010). L'ensemble de la zone prospectée pouvait donc être définie comme étant à **faible risque ciguâtérique (Niveau A)**.

En 2012, toutes zones confondues, le taux d'individus fortement toxiques (Tox++) s'élevait à 18% (44% de Tox+ et Tox++).

Tableau 8 : Distribution spatio-temporelle des niveaux de toxicité selon les différentes classes (Atox, Tox+ et Tox++ ; en %) pour les poissons pêchés en 2008, 2009 et en 2012 dans la zone du Grand Sud.

Année	Nom de la zone	Total	Atox	Tox+	Tox++
2008	Port de Prony	n = 19	68%	27%	5%
	Bonne Anse	n = 15	80%	13%	7%
	Port Boisé	n = 16	87%	13%	0
	Total	N = 50	79%	17%	4%
2009	Port de Prony	n = 15	80%	13%	7%
	Bonne Anse	n = 16	100%	0	0
	Port Boisé	n = 15	100%	0	0
	Total	N = 46	93%	4%	2%
2012	Bonne Anse	n = 18	67%	33%	0%
	Baie Kué	n = 20	20%	45%	35%
	Havannah	n = 16	56%	6%	38%
	Port de Goro	n = 20	75%	25%	0%
	Ile Ouen	n = 20	65%	15%	20%
	Total	N = 94	56%	26%	18%

La Figure 15 présente le nombre d'individus par classe de toxicité et par zone de pêche. D'après ce graphique, entre 2008 et 2012, le taux d'individus fortement toxiques (Tox++) reste inférieur à 10% dans les zones du port de Prony, de Bonne Anse et de Port Boisé.

A Bonne Anse (seule zone suivie sur les 3 années), le pourcentage de spécimens non toxiques (ATox) évolue entre 80% en 2008, 100% en 2009 et 67% en 2012 ; malgré cette sensible augmentation de la toxicité, le niveau reste relativement moyen puisque aucun poisson n'est recensé comme « fortement toxique » en 2009 et 2012 (7% de Tox++ en 2008).

Concernant **les nouvelles zones** de la campagne 2012, les données de toxicité présentent des proportions relativement élevées d'individus « fortement toxiques » (Tox++): 35%, 38% et 20% pour la Baie Kué, le Canal de la Havannah, et l'île Ouen, respectivement. Pour ces 3 secteurs, il est toutefois impossible d'émettre une quelconque hypothèse quant à l'évolution du risque ciguatérique puisque ces résultats proviennent de la première campagne réalisée dans ces nouvelles zones de pêche explorées.

Pour le Port de Goro, le niveau de toxicité est faible (5% de Tox+ et Tox++).

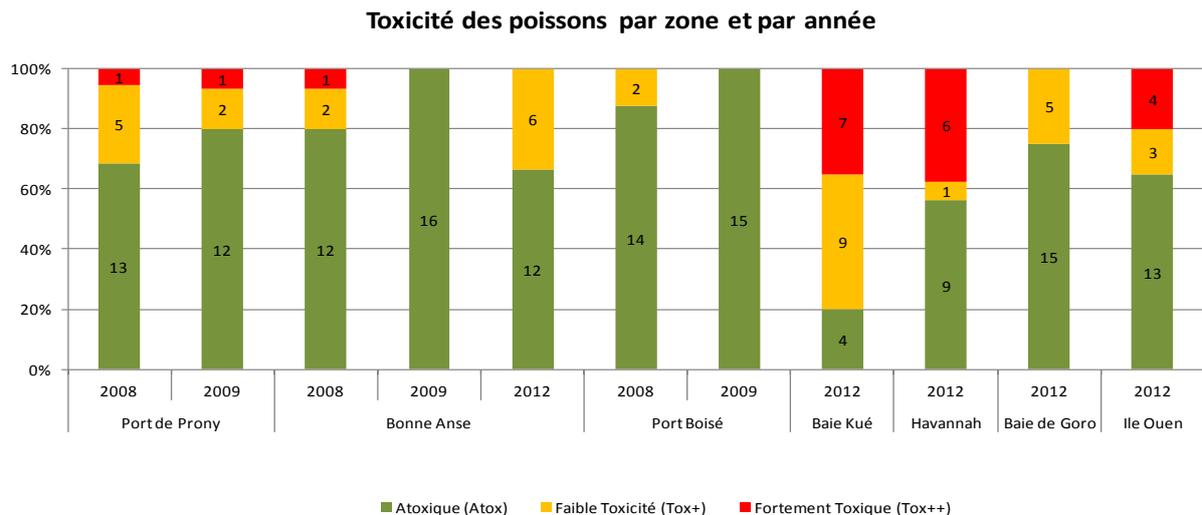


Figure 15 : Proportions de poissons par classe de toxicité et par zone, analysés dans le cadre des suivis sanitaires 2008, 2009 et 2012 (le nombre d'individus affectés est reporté sur les histogrammes).

Ces résultats permettent d'observer qu'à l'intérieur de chacune des zones et pour les trois campagnes de la période 2008-2012, il se maintient un pourcentage de poissons présentant des teneurs en toxines au seuil de toxicité (Tox+), exception faite de 2009 pour Port Boisé et Bonne Anse. Il a déjà été montré (Bagnis *et al.*, 1980) que les poissons sont porteurs d'un certain « bruit de fond » favorisant une accumulation de toxines dites « silencieuses ». Ainsi, même si une zone est considérée à faible risque, voire indemne de risque ciguatérique, le consommateur pourra malgré tout accumuler des toxines sans déclarer d'intoxication, comme le montre l'étude menée à Ouvéa (Kerbrat, 2010).

b) TOXICITÉ PAR NIVEAU TROPHIQUE

En 2008 et 2009, des spécimens toxiques ont été recensés dans les deux principaux régimes trophiques (Tableau 9) : les herbivores et les carnivores, les omnivores et les malacophages n'étant pas représentés par manque d'information (Figure 16). Une exception affecte cependant cette constatation, aucun spécimen d'herbivores *Scarus*, *Chlorurus* ou *Naso unicornis* n'a été décelé comme « toxique ». Ces poissons sont situés au plus bas de la chaîne trophique et leur atoxicité pourrait indiquer qu'aucun phénomène ciguatérique n'était en émergence dans les zones de pêche étudiées durant la période considérée.

En 2012, les proportions d'individus porteurs de toxines (Tox+ et Tox++) concernent tant les carnivores (29% de Tox++) que les herbivores (7% de Tox++). Cependant, ces résultats incluent des secteurs de pêches étudiés pour la première fois (Canal de la Havannah, Baie Kué et Ile Ouen) et ne permettent pas, en conséquence, de formuler des hypothèses étayées. D'après ces résultats, il semblerait que ce **phénomène ciguatérique soit non émergent** au moment de la dernière collecte (février 2012) ; l'absence quasi-totale d'herbivores fortement

toxiques dans la population échantillonnée, suggèrent que l'épisode d'efflorescence de micro-organismes ciguatérigènes, source de toxicité que l'on observe dans ces poissons, n'est pas récente (*Communication personnelle de Mireille Chinain, Institut Malardé*).

Tableau 9 : Distribution des classes de toxicité par régime trophique (toute zone confondue) pour les campagnes 2008, 2009 et 2012.

Niveau Trophique	Année	Nombre d'individu total	Atoxique	Tox+	Tox++
Carnivore	2008	18	72%	22%	6%
	2009	15	93%	7%	0%
	2012*	49	43%	29%	29%
Omnivore + Malacophages	2008	11	45%	45%	9%
	2009	4	50%	25%	25%
	2012*	-	-	-	-
Herbivore	2008	21	100%	0%	0%
	2009	27	100%	0%	0%
	2012*	45	71%	22%	7%

* Trois nouvelles zones ont été ajoutées pour la campagne 2012 (Canal de la Havannah, Baie Kué et Ile Ouen).

Proportion des poissons herbivores selon leur status toxique, l'année et la zone de pêche



Proportion des poissons carnivores selon leur status toxique, l'année et la zone de pêche



Figure 16 : Proportions de poissons par régime trophique (herbivore et carnivore), par classe de toxicité et par zone, analysés dans le cadre du suivi sanitaire 2008, 2009 et 2012 (le nombre d'individus est reporté sur les histogrammes).

SYNTHÈSE : ECHELLE 2 DE RISQUE

En **2008 et 2009**, dans la zone du Grand Sud, de la Baie du Prony et jusqu'à Port Boisé, les analyses de toxicité ont montré que la zone de prospection est classée à **faible risque (Niveau A)**. En effet, l'étude présente des résultats dont les données de toxicité étaient similaires à ceux de la zone de pêche d'Ouvéa, zone considérée à faible risque ciguatérique (Kerbrat & Laurent, 2010). Il est à noter que la proportion de poissons dont la valeur de toxicité est sensible pour l'Homme (Tox++) sont restées faibles, avec sur l'ensemble de la zone 4% en 2008 et 2% en 2009.

En **2012**, globalement les proportions évoluent vers une augmentation des teneurs en toxines sur l'ensemble des zones (18% de poissons Tox++). Ce résultat s'explique par l'intégration dans l'étude de nouvelles zones de pêche qui présentent un taux de spécimens à risque supérieur. En effet, les zones du Canal de la Havannah, de la Baie Kué et de l'île Ouen présentent respectivement 75%, 40% et 33% de poissons carnivores évalués en Tox++ et 0%, 30% et 0% de poissons herbivores classés en Tox++ ; aucune étude antérieure ne permettant de relier ces résultats.

En résumé, en tenant compte de la globalité des poissons herbivores et carnivores fortement toxiques (Tox++), il est possible de dire que :

- Pour 2008 et 2009, le risque ciguatérique a été faible (**Niveau A**) sur l'ensemble des zones ;
- Pour 2012, le risque a été classé comme faible (**Niveau A**) pour les zones de Bonne Anse et du Port de Goro, moyen (**Niveau B**) pour les zones de pêches de l'île Ouen et la Baie Kué et la Havannah.

En ce qui concerne ces dernières zones (Ile Ouen, Baie Kué et Havannah), au vu des proportions relatives en individus fortement toxiques (Tox++) « herbivores vs. carnivores », il est intéressant de noter que :

- Pour la zone de l'île Ouen et du Canal de la Havannah, le phénomène de développement ciguatérique n'est probablement pas récent puisque seuls les poissons carnivores sont affectés et particulièrement les individus de grande taille ; l'âge des individus toxiques (loches saumonées) est approximativement évalué entre 5 et 14 ans pour l'île Ouen et entre 7 et 18 ans pour le Canal. Toutefois, des spécimens entre 3 et 17 ans ont été recensés comme atoxiques (Atox) à l'île Ouen, mais aucun dans le Canal de la Havannah. Cette information démontre le caractère localisé des développements ciguatériques pour des poissons très sédentaires comme la loche saumonée ;
- Pour la Baie Kué, il semble que le phénomène soit plus récent en raison de la proportion élevée de poissons herbivores toxiques (herbivores : 30% et carnivores : 40% en 2012).

CONCLUSIONS

I. LA METHODOLOGIE D'ÉVALUATION DU RISQUE CIGUATÉRIQUE

Rappel: L'évaluation du risque ciguatérique est à envisager aux niveaux, (i) des populations de microorganismes (dinoflagellés et cyanobactéries) et, (ii) des maillons sélectionnés de la chaîne trophique (poissons, mollusques). Véritables indicateurs du risque ou de l'état de la toxicité d'une zone, ces deux niveaux de suivi (micro-organismes et poissons-sentinelles) constituent des échelles de suivi sanitaire. Elles sont également de bons indicateurs de l'état de santé des milieux coralliens.

La toxicité des micro-organismes et des poissons est établie grâce à l'analyse du test de cytotoxicité pour une zone donnée et une période de l'année. Les fluctuations dans le temps et dans l'espace sont à prendre en compte dans le cadre d'un suivi puisqu'il est important de rappeler que le développement ciguatérique est un **phénomène transitoire pour une zone considérée**.

Cette synthèse montre de nouveau l'intérêt d'avoir un **suivi continu** dans la collecte des données sur les micro-organismes et sur les poissons, afin d'expliquer les corrélations potentielles entre les efflorescences toxiques et la toxicité des poissons constatées, voire avec les intoxications enregistrées. Il est donc important de se contraindre à **suivre le même réseau** de stations de micro-organismes et de pêche.

De ce fait, un élargissement de la zone de suivi des micro-organismes est recommandé afin de couvrir l'intégralité de la zone de suivi des populations pisciaires toxiques (Ile Ouen, Port de Goro et si possible le Canal de la Havannah).

Enfin, en ce qui concerne l'analyse de la toxicité des poissons, il serait intéressant de faire une étude plus approfondie pour un meilleur calibrage du test. En effet, celui-ci est basé sur les données de thèse (Kerbrat, 2010) comprenant en partie des données bibliographiques dont notamment la valeur du seuil de toxicité. Un travail de recherche comprenant une évaluation plus fine de la valeur de ce seuil et un exercice d'inter-comparaison des résultats d'analyses par d'autres techniques de dosage (test du radio-ligand ou techniques immunologiques) ou d'autres zones d'études, apporterait une valeur supplémentaire à ce test de routine. Il est utile de rappeler que ce test reste très bien adapté à la nature de l'étude incluant « sensibilité » et « fiabilité » du dosage (faible teneur en toxines et profils toxiques variés), avec une application à un grand nombre d'analyses incluant les contraintes de rapidité et de relatif faible coût.

II. EVALUATION DU RISQUE CIGUATÉRIQUE

A. ECHELLE 1 : LES MICRO-ORGANISMES

Les observations des populations de dinoflagellés réalisées de 2005 à 2012 sur le réseau de la zone du Grand Sud calédonien ont mis en évidence la présence naturelle de *Gambierdiscus* sur divers sites en Baie du Prony (CIG10, CIG11, CIG14), au niveau du port de commerce (CIG07, CIG08 et CIG09), à Bonne Anse (CIG05), à Port Boisé (N°12) et en Baie Kué (CIG01) ; au vu des faibles concentrations relevées, la toxicité due aux micro-organismes n'a pas été évaluée avec les outils d'analyse disponibles (extraction des toxines et tests de cytotoxicité). Ces populations, en faible densité, ne présentent vraisemblablement pas de risque de contamination de la chaîne pisciaire.

De 2005 à 2008 et de 2010 à 2012, bien que des cyanobactéries fussent présentes sur l'ensemble des stations du réseau de surveillance, aucune efflorescence n'a été observée. Cependant en 2009, au niveau du port de commerce (CIG07) et à Bonne Anse (CIG05), de larges mattes de cyanobactéries ont été observées et révélaient donc un potentiel ciguatoxique élevé.

Il est important de surveiller les zones fragilisées qui sont des sites propices au développement des populations de dinoflagellés et de tapis cyanobactériens. Ce suivi permet, en cas de présence de souches toxiques en nombre suffisant, de prévenir la potentielle contamination de la chaîne pisciaire. Les concentrations en toxines dans les chairs de poissons peuvent atteindre un seuil symptomatique chez les herbivores en quelques mois après une efflorescence ciguatoxinogène.

En résumé, pour tout le réseau sur les périodes **2005-2007** et **2010-2012**, le risque ciguatérique est de **Niveau 1** : les micro-organismes ciguatoxinogènes sont présents mais ils n'ont pas été observés en état d'efflorescence. *A contrario*, étant donné les efflorescences de cyanobactéries observées durant l'année **2009** et la toxicité de celle-ci, le niveau du risque s'est élevé localement au **Niveau 5** de l'Echelle de risque 1.

B. ECHELLE 2 : LA TOXICITÉ DES POISSONS-SENTINELLES

Le suivi des populations de micro-organismes permet de prévenir le risque ciguatérique, mais n'informe pas forcément sur le risque qu'aura un poisson d'être toxique dans la zone. Par exemple, l'Echelle 1 de risque classait la Baie du Prony depuis 2010 en « Niveau 1 » alors que des cas d'intoxication ont été signalés cette même année (Clua, 2011). L'étude des deux niveaux trophiques (microorganismes et poissons) permet de « combler », en partie, les incertitudes liées à chacun des niveaux de suivi et ce, afin de donner une information pertinente aux écologues et aux consommateurs.

Les tests de toxicité des poissons groupés par zones de pêche et les classements en termes de niveau de risques sont synthétisés dans le Tableau 10 :

- Pour 2008 et 2009, le risque ciguatérique est faible (**Niveau A**) sur l'ensemble des zones (Baie du Prony, Bonne Anse et Port Boisé) ;
- Pour 2012, le risque est estimé faible (**Niveau A**) pour les zones de Bonne Anse et de Port de Goro et moyen (**Niveau B**) pour les zones de pêches de l'île Ouen, la Baie Kué et la Havannah.

Tableau 10 : Synthèse de l'évaluation du risque ciguatérique moyen par année et par groupement de zones de pêche.

Année	Groupement des zones de pêche	Echelle 2 de risque ciguatérique
2008	Baie du Prony, Bonne Anse et Port Boisé	A
2009	Baie du Prony, Bonne Anse et Port Boisé	A
2012	Bonne Anse et Port de Goro	A
2012	Ile Ouen, Baie Kué et Havannah	B

Remarque : une des conclusions des travaux de thèse de Kerbrat (2010) était : « Dans les zones où la présence de cyanobactéries toxiques (site 4/Port, CIG 07) et potentiellement toxique (site 2/Bonne Anse, CIG 05) a été observée l'année dernière (2009), il est possible que les poissons inféodés à ces zones présentent, dans les deux années à venir, un certain niveau de contamination. Il serait donc pertinent d'évaluer la toxicité des poissons pour cette année (2010) et l'année suivante (2011) ».

CE QU'IL FAUT RETENIR

A l'issu des suivis menés de 2005 à 2012, il est possible de conclure que globalement, le risque ciguatérique dans la zone du Grand Sud est à considérer comme faible (Echelle 1 de risque => **Niveau 1** & Echelle 2 de risque => **Niveau A**). Cependant, en 2009, il a été évalué un risque « élevé » au niveau de la zone du port de commerce et à Bonne Anse (Echelle 1 de risque => **Niveau 5**) et en 2012 un niveau risque « moyen » (Echelle 2 de risque => **Niveau B**) dans les zones du Canal de la Havannah, de l'île Ouen, et en Baie Kué.

Echelle 1 de risque : les micro-organismes

Le genre *Gambierdiscus* potentiellement ciguatoxique est présent sur le réseau de suivi ; sa population est à surveiller pour prévenir un risque accru si les conditions environnementales devenaient favorables à leur efflorescence.

Certaines zones comme le port de commerce, Bonne Anse et Port Boisé, où des populations de cyanobactéries ont été observées, devraient être à surveiller de manière continue.

Le risque élevé (Niveau 5) dans la zone du port de commerce (CIG 07) et à Bonne Anse (CIG 05) peut être relié à la présence durant le premier semestre 2009, de larges tapis cyanobactériens identifiés comme ciguatoxiques.

Echelle 2 de risque : les poissons-sentinelles

En **2008** et **2009** sur l'ensemble des zones de pêche, le risque ciguatérique est considéré comme faible (**Niveau A**) : La proportion des poissons dits Tox++ susceptibles de provoquer des symptômes chez l'Homme est inférieure à 20% pour les carnivores et les herbivores.

En **2012** sur les zones de Bonne Anse et du Port de Goro, le risque ciguatérique est également considéré comme faible (**Niveau A**) : la proportion des poissons dits Tox++, susceptibles de provoquer des symptômes chez l'Homme est inférieure à 20% pour les carnivores et les herbivores. Cependant, les zones du Canal de la Havannah, de la Baie Kué et de l'île Ouen présentent des proportions élevées de **poissons carnivores** fortement toxiques (Tox++) (75%, 40% et 33% respectivement) ; le risque ciguatérique global correspond donc à un **Niveau B** pour chacune de ces trois zones.

Ces études ont permis de développer, de valider et d'éprouver des techniques (observations microscopiques in-vitro, observations in-situ et bioessais) pour dépister les développements ciguatériques à deux niveaux de la chaîne trophique. Il subsiste cependant nombre d'incertitudes pour l'évaluation du risque lui-même, notamment en termes de stratégie d'échantillonnage (fréquence, zones et cibles). Par ailleurs, les deux échelles d'évaluation des risques (Echelle 1 et Echelle2) sont certainement à reformuler pour mieux intégrer les résultats analytiques.

REFERENCES

- Bagnis R, Chanteau S, Chungue E, Hurtel JM, Yasumoto T, Inoue A., 1980.** Origins of ciguatera fish poisoning: a new dinoflagellate, *Gambierdiscus toxicus* Adachi and Fukuyo, definitively involved as a causal agent. *Toxicon*, 18(2):199-208.
- Beliaeff B, Bouvet G, Fernandez JM, David C, Laugier T, 2011.** Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT "Le Nickel et son environnement". 169pp.
- Berridge MV & Tan AS, 1993.** Characterization of the cellular Reduction of 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT): subcellular localization, substrate dependence, and involvement of mitochondrial electron Transport in MTT reduction. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 303 : 474-482.
- Breau L, Goyaud A, Legrand H, Mou Tham G, 2010.** Etat de référence de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie : Détermination de la qualité écotoxicologique initiale des Produits de la mer consommés localement. Convention de Recherches IRD/Vale INCO NC n°C2326/E13850, IRD-Nouméa, 27 p. + annexes.
- Chinain M, Germain M, Deparis X, Pauillac S, Legrand AM, 1999.** Seasonal abundance and toxicity of the dinoflagellate *Gambierdiscus* spp. (*Dinophyceae*), the causative agent of ciguatera in Tahiti, French Polynesia. *Marine Biology*, 135 : 259-267.
- Clua E, 2011.** Deux cas d'intoxication ciguatoxique par ingestion de poissons pêchés en Baie du Prony (Nouvelle-Calédonie). Bulletin médical (Nouvelle-Calédonie), n°58 : 23-25.
- Clua E, Brena PF, Lecasble C, Ghnassia R, Chauvet C, 2011.** Prevalence and proposal for cost-effective management of the ciguatera risk in the Noumea fish market, New Caledonia (South Pacific). *Toxicon*, 58 (6-7) : 591-601.
- Darius HT, Ponton D, Revel T, Cruchet P, Ung A, Tchou Fouc M, Chinain M, 2007.** Ciguatera risk assessment in two toxic sites of French Polynesia using the receptor-binding assay. *Toxicon*, 50 : 612-626.
- Dickey RW, Plakas SM, 2010.** Ciguatera: A public health perspective. *Toxicon*, 56(2): 123-136.
- Golubic S, Abed RMM, Palinska K, Pauillac S, Chinain M, Laurent D., 2010.** Marine toxic cyanobacteria: Diversity, environmental responses and hazards. *Toxicon*, 56 (5) : 836-841.
- Hamilton B, Whittle N, Shaw G, Eaglesham G, Moore MR, Lewis RJ, 2009.** Human fatality associated with Pacific ciguatoxin contaminated fish. *Toxicon*, 56 : 668-673.
- Kerbrat AS, 2010.** Rôle des cyanobactéries dans le développement des zones ciguatérigènes en lien avec les impacts anthropiques, pour une meilleure gestion du risque ciguatérique. Thèse de doctorat de l'Université de Pierre et Marie Curie.
- Kerbrat AS, Amzil Z, Pawlowicz R, Golubic S, Sibat M, Darius HT, Chinain M, Laurent D, 2011.** First evidence of palytoxin and 42-hydroxy-palytoxin in the marine cyanobacterium *Trichodesmium*. *Marine Drugs*, 9 : 543-560.
- Kerbrat AS, Goyaud A, Fernandez JM, 2012.** Développement ciguatérique : Suivi des populations ciguatoxinogènes dans la région de la Baie du Prony et du canal de la Havannah - Campagne 2011. Contrat AEL/OEIL, n° 101214-OE-01. 39p.
- Kerbrat AS, Laurent D, 2007.** Expertise environnementale : Suivi des efflorescences de micro-organismes pouvant être responsables du phénomène ciguatérique - 2005-2006 ». Rapport IRD, UMR 152 - Rapport Goro-Nickel, 3p.
- Kerbrat AS, Laurent D, 2010.** Risque ciguatérique en Baie du Prony lié au développement de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie. Convention de Recherche, IRD/Vale INCO NC n°1405, IRD-Nouméa, 115p.
- Kumar-Roine S, Matsui M, Chinain M, Laurent D, Pauillac S, 2008.** Modulation of inducible nitric oxide synthase gene

expression in RAW 264.7 murine macrophages by Pacific ciguatoxin. *Nitric Oxide* 19, 21–28.

Laurent D, Kerbrat A-S, Darius HT, Girard E, Golubic S, Benoit E, Sauviat M-P, Chinain M, Molgo J, Pauillac S. 2008. Are cyanobacteria involved in Ciguatera Fish Poisoning-like outbreaks in New Caledonia? *Harmful Algae*, 7(6) : 827-838.

Laurent D, Kerbrat AS, Darius HT, Rossi F, Yeeting B, Haddad M, Golubic S, Pauillac S, Chinain M, 2011. Ciguatera Shellfish Poisoning (CSP): A New Ecotoxicological Phenomenon from Cyanobacteria to Humans via Giant Clams. *Nova Science Publishers, Inc. In Food Chain: New research*, Ch.1 : 1-44.

Laurent D, Yetting B, Labrosse P & Gaudechoux JP, 2005. In: SPC and IRD (Eds), Ciguatera fish poisoning: A field reference guide. Nouméa, New Caledonia, pp. 1-88.

Lavoie I, Laurion I, Warren A, Vincent WF, 2007. Les fleurs d'eau de cyanobactéries, revue de littérature. INRS rapport, n° 916, xiii, 124 p.

Lehane L, Lewis RJ, 2000. Ciguatera: recent advances but the risk remains. *International journal of food microbiology*, 61: 91-125.

O'Toole AC, Dechraoui Bottein MY, Danylchuk AJ, Ramsdell JS, Cooke SJ, 2012. Linking ciguatera poisoning to spatial ecology of fish: A novel approach to examining the distribution of biotoxin levels in the great barracuda by combining non-lethal blood sampling and biotelemetry. *Science of The Total Environment*, 427-428: 98-105.

LISTE DE FIGURES

FIGURE 1 : LA BAIE DU PRONY, BAIE CALME ET ENCLAVEE AUSSI APPELEE LA BAIE ANTICYCLONIQUE.	5
FIGURE 2 : SCHEMA DE L'INTOXICATION PAR LA CHAINE ALIMENTAIRE VIA LES HERBIVORES OU LES MOLLUSQUES (SOURCE : WWW.ILM.PF)	7
FIGURE 3 : CARTE DE LA ZONE DU SUD DE LA GRANDE TERRE ET DE L'IMPLANTATION DES DIFFERENTES INFRASTRUCTURES DE VALE-NC (SOURCES VALE-NC)	7
FIGURE 4 : CARTE DU RESEAU DE STATIONS POUR LE SUIVI DES MICRO-ORGANISMES. (EN BLEU ZONE DE RECIF CORALLIEN)	13
FIGURE 5 : EXEMPLES DE MACRO-ALGUES SUPPORTS DES DINOFLAGELLES : <i>HALIMEDA</i> , <i>TURBINARIA</i> ET <i>DICTYOTA</i>	14
FIGURE 6 : SYNTHESE DU PROTOCOLE DE PRELEVEMENT DES MICRO-ORGANISMES : PRELEVEMENT MANUEL EN PLONGEE ET FILTRATION APRES EXTRACTION DES MICRO-ALGUES.	14
FIGURE 7 : CARTES DES ZONES DE PECHE DES POISSONS POUR L'ANALYSE TOXICOLOGIQUE EN 2008 ET 2009 (HAUT) ET 2012 (BAS)	17
FIGURE 8 : SOMMES DES CLASSES DE QUANTIFICATION DE DINOFLAGELLES DES OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES DU RESEAU DE STATIONS REALISEES DE 2005 A 2012. LE GRAPHIQUE 8A REPRESENTE LES OBSERVATIONS SUR L'ENSEMBLE DU RESEAU (SOMME DE L'ENSEMBLE DES STATIONS PAR ANNEE) ; LES GRAPHIQUES 8B1 A 8B5 REPRESENTENT LES SOMMES DES CLASSES DES OBSERVATIONS PAR ZONE ET PAR ANNEE : ZONE DE LA BAIE DU PRONY (SANS LE PORT) (8B1), ZONE DU PORT (8B2), ZONE DE BONNE ANSE (8B3), BAIE DE PORT BOISE (8B4) ET BAIE KUE (8B5).....	22
FIGURE 9 : MOYENNE DES CLASSES DE QUANTIFICATION DE DINOFLAGELLES DES OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES DU RESEAU DE STATIONS REALISEES DE 2005 A 2012. LE GRAPHIQUE 9A REPRESENTE LES OBSERVATIONS SUR L'ENSEMBLE DU RESEAU (MOYENNE DE L'ENSEMBLE DES STATIONS PAR ANNEE) ; LES GRAPHIQUES 9B1 A 9B5 REPRESENTENT LA MOYENNE DES CLASSES DES OBSERVATIONS PAR ZONE ET PAR ANNEE : ZONE DE LA BAIE DU PRONY (SANS LE PORT) (9B1), ZONE DU PORT (9B2), ZONE DE BONNE ANSE (9B3), BAIE DE PORT BOISE (9B4) ET BAIE KUE (9B5).....	23
FIGURE 10 : SOMME DES CLASSES DE QUALIFICATION DE CYANOBACTERIES DES OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES DU RESEAU DE STATIONS REALISEES DE 2006 A 2012. LE GRAPHIQUE 10A REPRESENTE LES OBSERVATIONS SUR L'ENSEMBLE DU RESEAU (SOMME DE L'ENSEMBLE DES STATIONS PAR ANNEE) ; LES GRAPHIQUES 10B1 A 10B5 REPRESENTENT LES SOMMES DES CLASSES DES OBSERVATIONS PAR ZONE ET PAR ANNEE : ZONE DE LA BAIE DU PRONY (SANS LE PORT) (10B1), ZONE DU PORT (10B2), ZONE DE BONNE ANSE (10B3), BAIE DE PORT BOISE (10B4) ET BAIE KUE (10B5).	25
FIGURE 11 : MOYENNE DES CLASSES DE QUALIFICATION DE CYANOBACTERIES DES OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES DU RESEAU DE STATIONS REALISEES DE 2006 A 2012. LE GRAPHIQUE 11A REPRESENTE LES OBSERVATIONS SUR L'ENSEMBLE DU RESEAU (MOYENNE DE L'ENSEMBLE DES STATIONS PAR ANNEE) ; LES GRAPHIQUES 11B1 A 11B5 REPRESENTENT LES MOYENNES DES CLASSES DES OBSERVATIONS PAR ZONE ET PAR ANNEE : ZONE DE LA BAIE DU PRONY (SANS LE PORT) (11B1), ZONE DU PORT (11B2), ZONE DE BONNE ANSE (11B3), BAIE DE PORT BOISE (11B4) ET BAIE KUE (11B5).	26
FIGURE 12 : VUES <i>IN SITU</i> DE DIFFERENTES CYANOBACTERIES DE L'ORDRE DES OSCILLATORIALES OBSERVEES ENTRE 2008 ET 2009 A PORT BOISE (105), BONNE ANSE (106) ET L'ILET GABRIEL (107 ET 108). NATURELLEMENT PRESENTES, LEURS ETENDUES NE DEPASSENT PAS 1 M ²	27
FIGURE 13 : VUES <i>IN SITU</i> DE LA ZONE DU PORT EN MAI 2010 OU A ETE OBSERVE DE JUIN 2009 A FEVRIER 2010 LES TAPIS COMPOSES D' <i>H. LYNGBYACEUM</i> : LES DEBRIS CORALLIENS SE RECOUVRENT DE MACRO-ALGUES DONT LA PHEOPHYCEE DU GENRE <i>DICTYOTA</i>	28
FIGURE 14 : VUES PANORAMIQUES <i>IN SITU</i> DE LA STATION DU PORT DE PRONY (CIG 07) A 3, 7 ET 10 M, RESPECTIVEMENT PHOTOS 106, 107 ET 108 (AVRIL 2012).	28
FIGURE 15 : PROPORTIONS DE POISSONS PAR CLASSE DE TOXICITE ET PAR ZONE, ANALYSES DANS LE CADRE DES SUIVIS SANITAIRES 2008, 2009 ET 2012 (LE NOMBRE D'INDIVIDUS AFFECTES EST REPORTE SUR LES HISTOGRAMMES).....	31
FIGURE 16 : PROPORTIONS DE POISSONS PAR REGIME TROPHIQUE (HERBIVORE ET CARNIVORE), PAR CLASSE DE TOXICITE ET PAR ZONE, ANALYSES DANS LE CADRE DU SUIVI SANITAIRE 2008, 2009 ET 2012 (LE NOMBRE D'INDIVIDUS EST REPORTE SUR LES HISTOGRAMMES).	32

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : PROJETS SCIENTIFIQUES POUR LE SUIVI DU RISQUE CIGUATERIQUE DANS LA REGION DU GRAND SUD.	8
TABLEAU 2 : LISTE DES STATIONS SUIVIES : ZONE, NOM ET COORDONNEES GPS (REFERENTIEL WGS84) ET ANNEE D'INTEGRATION DANS LE SUIVI.	12
TABLEAU 3 : ECHELLE 1 DU « RISQUE CIGUATERIQUE » BASE SUR LA SURVEILLANCE DES MICRO-ORGANISMES (EXTRAIT DU GUIDE POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DU MILIEU MARIN ; BELIAEFF ET AL., 2011).	15
TABLEAU 4 : CLASSES DE TOXICITE DES POISSONS ATTRIBUEES PAR LE TEST DE CYTOTOXICITE : ATOXIQUE (ATOX), MOYENNEMENT TOXIQUE (TOX+) ET FORTEMENT TOXIQUE (TOX++).....	19
TABLEAU 5 : ECHELLE 2 DU RISQUE CIGUATERIQUE BASE SUR LA SURVEILLANCE DE TOXICITE DES POISSONS (EXTRAIT DU GUIDE POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DU MILIEU MARIN ; BELIAEFF ET AL., 2011).	19
TABLEAU 6 : NOMBRE DE MISSIONS MENSUELLES (MICRO-ORGANISMES : CELLULES COLOREES) ET DE MISSIONS ANNUELLES (POISSONS) DE 2005 A 2012 DANS LE CADRE DES PROGRAMMES DU SUIVI CIGUATERIQUE DANS LA REGION DU GRAND SUD.	20
TABLEAU 7 : DEFINITION DES CLASSES CARACTERISANT LES OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES DES DINOFLAGELLES ET CYANOBACTERIES.	20
TABLEAU 8 : DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES NIVEAUX DE TOXICITE SELON LES DIFFERENTES CLASSES (ATOX, TOX+ ET TOX++ ; EN %) POUR LES POISSONS PECHES EN 2008, 2009 ET EN 2012 DANS LA ZONE DU GRAND SUD.	30
TABLEAU 9 : DISTRIBUTION DES CLASSES DE TOXICITE PAR REGIME TROPHIQUE (TOUTE ZONE CONFONDUE) POUR LES CAMPAGNES 2008, 2009 ET 2012.	32
TABLEAU 10 : SYNTHESE DE L'EVALUATION DU RISQUE CIGUATERIQUE MOYEN PAR ANNEE ET PAR GROUPEMENT DE ZONES DE PECHE.	36

ANNEXES

Annexe 1 : Organigramme de la méthodologie d'évaluation du risque de développement ciguatérique.

Annexes 2 : Fiche N°23 du Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie (Bélieff *et al.*, 2011) : Ciguatera.

Annexe 3 : Données des observations microscopiques concernant les dinoflagellés ; résultats obtenus lors des programmes de suivi du risque ciguatérique dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie de 2005 à 2012 (période de saison fraîche surlignée en bleu et de saison chaude en rose).

Annexe 4 : Récolte des poissons 2008, 2009 et 2012 à Prony et données de toxicité. Poissons collectés en 2008 et 2009 au Port de Prony (1), à Bonne Anse (2) et à Port Boisé (3): caractéristiques de chaque spécimen (Identification, données biométriques) et classe de toxicité évaluée par le test N2A.

Annexe 1

Organigramme de la méthodologie d'évaluation du risque de développement ciguatérique.



Annexe 2

Fiche N°23 du Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie (Bélieff *et al.*, 2011) : Ciguatera.

FICHE 23. CIGUATERA

Auteur principal : A.-S. KERBRAT (IRD)

1. Paramètre(s) suivi(s)

Un écosystème présente un risque ciguatérique si les poissons sont contaminés ou exposés à la contamination de toxines ciguatériques. Ces toxines sont produites par certaines espèces de Dinoflagellés ou de cyanobactéries dites ciguatoxinogènes.

Ce phénomène de bioaccumulation est complexe et le risque sanitaire qui en découle peut être évalué à deux niveaux écologiques :

- Niveau 1 : micro-organismes

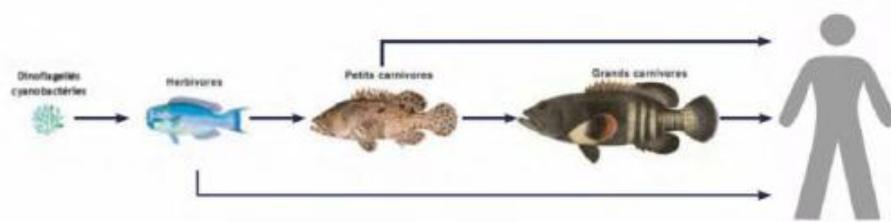
Les paramètres suivis concernent les populations de micro-organismes ciguatoxinogènes (Dinoflagellés et cyanobactéries), il s'agit de i) leur identification, ii) leur quantification et iii) l'évaluation de leur potentiel toxique.

- Niveau 2 : populations de poissons

Le paramètre suivi est la proportion de poissons contaminés appartenant à des populations d'espèces dites sentinelles. Il est fortement préconisé de coupler ce niveau au niveau 1 ; intégrateur du risque, l'évaluation du risque est alors plus précise.

En quelques mots...

Ecosystèmes, type(s) de zone	tous
Faisabilité terrain	
- Intervention terrain	mensuelle à annuelle
- Bateau	6 à 8 m
- Nb de Plongeurs	2 + 1 en surface
- Niveau de compétence	moyen
- Matériel particulier	tamis, verrerie
Faisabilité labo / bureau	
- Niveau de compétence des opérateurs	niv 1 : moyen niv 2 : élevé
- Matériel	microscope matériel de laboratoire



2. Type(s) de zone

Tous les écosystèmes coralliens dans la zone des 0-30m.

3. Méthodologie

Niveau 1 : micro-organismes

- ❖ Eléments de stratégie d'échantillonnage

La fréquence du suivi des micro-organismes (Dinoflagellés et cyanobactéries) est mensuelle.

- ❖ Opérations de terrain

Dans une zone définie, de maximum 50 à 100 m le long de la côte, collecter deux prélèvements au minimum.

Pour détecter la présence des Dinoflagellés du genre *Gambierdiscus* : récolter les algues-support des micro-algues (par exemple du genre : *Turbinaria*, *Halimeda*, *Dictyota*...), les agiter avec de l'eau de mer dans une poche plastique, filtrer sur tamis, récupérer les fractions d'intérêt (45 µm et 20 µm) qui seront ensuite observées au laboratoire.

Pour détecter la présence des populations de cyanobactéries potentiellement toxiques :

- en cas de présence en quantité faible (surface inférieure à 5 m²), faire un prélèvement « simple » à la main ou à l'aide d'une pince. Stabiliser le prélèvement au formol (5% en eau de mer) ;
- en cas d'efflorescence (forte densité et recouvrement de surface supérieure à 5m²), prélever une quantité de matière (au minimum 500 mL) à l'aide d'un aspirateur sous-marin pour évaluer sa toxicité (nature et degré).

Pour des raisons de sécurité, les opérations doivent se faire avec un minimum de trois personnes : deux immergées et une à bord de l'embarcation.

❖ Opérations de laboratoire

- Identification des espèces et dénombrement

L'identification et le dénombrement sont évalués à l'aide d'observations microscopiques. L'identification au niveau du genre ne nécessite aucune technique de coloration. Pour les Dinoflagellés, le dénombrement à partir des prélèvements est exprimé en nombre de cellules par gramme d'algue récoltée et pour les cyanobactéries, en nombre d'individus (ou trichome) par litre.

- Evaluation du potentiel toxique

Pour les deux types d'organismes, des prélèvements collectés en masse sont traités au laboratoire afin d'extraire les toxines ciguatériques selon une méthode dite rapide (extraction par solvant). La nature et la concentration des toxines susceptibles d'être présentes sont évaluées par un test de cytotoxicité spécifique.

Niveau 2 : populations de poissons

❖ Éléments de stratégie d'échantillonnage

La fréquence de la collecte des poissons est semestrielle : en saison froide et en saison chaude.

Selon la zone d'étude, une espèce dite sentinelle est définie afin de donner une information quant au niveau de contamination des populations pisciaires, et donc du stade d'accumulation du phénomène ciguatérique [réf. 1]. Les critères de choix sont entre autres : régime alimentaire, espèces représentatives des sites sélectionnés, espèces consommées par les populations, espèces présentes dans chacune des zones, espèces présentes en nombre suffisant (≥ 5 individus).

Identifier au minimum 2 espèces sentinelles ; comme par exemple : une espèce de bas de chaîne (Scaridés) et une espèce en haut de chaîne alimentaire (Serranidés).

❖ Opérations de terrain

Dans une zone définie de maximum 300-400 m le long de la côte, collecter 5 individus (au minimum) par espèce sentinelle.

Pour chaque individu collecté (avec un fusil sous-marin par exemple), noter l'espèce, les métriques (poids frais et longueur à la fourche) et photographier l'individu dès sa prise. Puis, prélever l'intégralité d'un filet.

Pour des raisons de sécurité, les opérations doivent se faire avec un minimum de trois personnes : deux immergées et une à bord de l'embarcation.

❖ Opérations de laboratoire

Les filets sont broyés intégralement. L'extraction des toxines ciguatériques est effectuée sur 3 aliquots de 5 g de chair. Les toxines sont extraites par solvant selon une méthode dite rapide. La nature et la concentration des toxines susceptibles d'être présentes sont évaluées par un test de cytotoxicité spécifique [réf. 1]. La proportion d'individu toxique pour l'Homme est calculée en pourcentage du nombre total d'individu. Trois degrés de toxicité peuvent être définis : atoxique, moyennement toxique et fortement toxique.



4. Valeurs de référence

Le Tableau 52 précise le mode opératoire pour l'estimation du risque de développement ciguatérique en fonction des observations réalisées sur les échantillons de populations de Dinoflagellés et de cyanobactéries identifiées et/ou dénombrées (détection de niveau 1).

Le Tableau 53 précise le mode opératoire pour le calcul du risque de développement ciguatérique avéré en fonction des observations préalablement réalisées sur les échantillons de populations de micro-organismes (Rouge = risque de niveau 5) donnant lieu à des détections systématiques de ciguatoxines sur des populations de poissons sentinelles (détection de niveau 2).

Ces protocoles proviennent des études effectuées dans différentes aires peu à moyennement perturbées par les activités anthropiques du grand lagon de Nouvelle-Calédonie entre 2005 et 2010. Ce travail a été réalisé par l'Unité Mixte de Recherches 152 anciennement « pharmacochimie des substances naturelles et pharmacophores redox » de l'IRD-Nouméa.

Tableau 52 : référentiel du risque ciguatérique basé sur les micro-organismes (niveau 1)

	Dinoflagellés <i>Genre Gambierdiscus ou Prorocentrum ou Ostreopsis</i>	Cyanobactéries <i>Oscillatoriales</i>	Niveau de risque
Identification	Absence	Absence	0
	Présence	Présence	1
Dénombrément ou surface de recouvrement	< 1000 cellules / g d'algues	< 5 m ²	2
	> 1000 cellules / g d'algues	> 5 m ²	3
Potentiel toxique	Atoxique	Atoxique	4
	Ciguatoxique	Ciguatoxique	5

Tableau 53 : référentiel du risque ciguatérique basé sur les poissons (niveau 2)

	Niveau trophique 1 (ex: perroquet)	Niveau trophique 2 (ex: loche saumonée)	Niveau de risque
Proportion d'individus toxiques	<20%	<20%	A
	20-50	20-50	B
	>50	>50	C

5. Références bibliographiques

- (1) Darius H.T., Ponton D., Revel T., Cruchet P., Ung A., TchouFouc M., Chinain M., 2007. Ciguatera risk assessment in two toxic sites of French Polynesia using the receptor-binding assay. *Toxicon*, 50 : 612-626.
- (2) Golubic S, Abed RMM, Palinska K, Pauillac S, Chinain M, Laurent D., 2009. Marine toxic cyanobacteria: Diversity, environmental responses and hazards. *Toxicon*, 56(5): 829-835.
- (3) Kerbrat A.S., 2010. Rôle des cyanobactéries dans le développement des zones ciguatérigènes en lien avec les impacts anthropiques, pour une meilleure gestion du risque ciguatérique. Thèse de doctorat de l'Université de Pierre et Marie Curie.
- (4) Kerbrat A.S., Amzil Z., Pawlowicz R., Golubic S., Sibat M., Chinain M., Laurent D., 2011. First evidence of palytoxin in *Trichodesmium* cyanobacteria: Possible implication in clupeotoxism. *Marine Drugs*, 9(4): 543-560.
- (5) Kerbrat A.S., Darius H.T., Pauillac S., Chinain M., Laurent D., 2010. Detection of ciguatoxin-like and paralyzing toxins in *Trichodesmium* spp. from New Caledonia lagoon. Special issue, *Marine Pollution Bulletin*, doi : 10.1016/j.marpolbul.2010.06.017.
- (6) Laurent D., Yetting B., Labrosse P. & Gaudechoux J.P., 2005. In: SPC and IRD (Eds), *Ciguatera fish poisoning: A field reference guide*. Nouméa, New Caledonia, pp. 1-88.
- (7) Lehane L., Lewis. R. J., 2000. Ciguatera: recent advances but the risk remains. *International journal of food microbiology*, 61: 91-125.

Annexe 3

Données des observations microscopiques concernant les dinoflagellés ; résultats obtenus lors des programmes de suivi du risque ciguatérique dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie de 2005 à 2012 (période de saison fraîche surlignée en bleu et de saison chaude en rose).

			Baie du Prony					Port				Bonne Anse			Port Boisé			Baie Kué
			Casy	Plage	flot Gabriel	Baie du Creek Nord	Rade Nord	Face au port	Port	Tuyau	Vieux wharf	Baie	Ext.	Int.	Passé ext.	Passé récif	Passé Int.	Baie Kué
Numérotation 2005-2010			1	7	8	-	9	3	4	5	6	2	10	11	12	13	14	-
Numérotation 2011-2012			Cig 14	Cig 10	Cig 11	Cig 12	Cig 13	Cig 06	Cig 07	Cig 08	Cig 09	Cig 05	Cig 03	Cig 04	-	Cig 02	-	Cig 01
2005	Avril	P1	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
	Juillet	P2	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
	Septembre	P3	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
	Novembre	P4	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
2006	Janvier	P5	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
	Février	P6	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
	Avril	P7	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
	Mai	P8	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
	Juin	P9	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
	Août	P10	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
	Octobre	P11	0	0	0		0	0	0	0	0		0					
Novembre	P12	0	0	0		0	0	0	0	0		0						
2007	Août	P14	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Octobre	P15		0	0		0	0	0	0	0							
	Novembre	P16	0	0	0		0	0	0	0	0							
2008	Janvier	P17	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Avril	P18	0	0	0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
	Mai	P19	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Juin	P20	0	0	0		0	0	2	0	0							
	Août	P21	0	0	0		0	0	0	0	2							
	Octobre	P22	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Novembre	P23	0	0	0		0	0	0	0	0							
Décembre	P24	0	0	0		0	0	0	0	0		1						
2009	Janvier	P25	1	-	1		0	0	-	-	-	0						
	Mars	P26	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Avril	P27	0	0	0		0	0	0	0	0		0	0	1	0	0	
	Juin	P28	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Août	P29	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Octobre	P30	2	0	0		0	0	0	0	0							
	Novembre	P31	0	0	0		0	0	0	0	0							
Décembre	P32	0	0	0		0	0	0	0	0								
2010	Janvier	P33	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Février	P34	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Avril	P35	0	0	0		0	0	0	0	0							
	Mai	P36	2	0	0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
2011	Janvier	OEIL1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Février	OEIL2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mars	OEIL3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Avril	OEIL4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mai	OEIL5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juin	OEIL6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Juillet	OEIL7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Août	OEIL8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Septembre	OEIL9	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Octobre	OEIL10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Novembre	OEIL11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Décembre	OEIL12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

			Baie du Prony					Port				Bonne Anse			Port Boisé			Baie Kué
			Casy	Plage	Îlot Gabriel	Baie du Creek Nord	Rade Nord	Face au port	Port	Tuyau	Vieux wharf	Baie	Ext.	Int.	Passé ext.	Passé récif	Passé Int.	Baie Kué
Numérotation 2005-2010			1	7	8	-	9	3	4	5	6	2	10	11	12	13	14	-
Numérotation 2011-2012			Cig 14	Cig 10	Cig 11	Cig 12	Cig 13	Cig 06	Cig 07	Cig 08	Cig 09	Cig 05	Cig 03	Cig 04	-	Cig 02	-	Cig 01
2012	Janvier	2012-Vale1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Février	2012-Vale2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mars	2012-Vale3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Avril	2012-Vale4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juin	2012-Vale6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juillet	2012-Vale7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Août	2012-Vale8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Septembre	2012-Vale9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Octobre	2012-Vale10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Novembre	2012-Vale11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Décembre	2012-Vale12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Données des observations microscopiques concernant les cyanobactéries ciguatoxinogènes ; résultats obtenus lors des programmes de suivi du risque ciguatérikien dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie de 2006 à 2012 (période de saison fraîche surlignée en bleu et de saison chaude en rose).

			Baie de Prony					Port				Bonne Anse			Port Boisé			Baie Kué
			Casy	Plage	Îlot Gabriel	Baie du Creek Nord	Rade Nord	Face au port	Port	Tuyau	Vieux wharf	Baie	Ext.	Int.	Passé ext.	Passé récif	Passé Int.	Baie Kué
Numérotation 2006-2010			1	7	8	-	9	3	4	5	6	2	10	11	12	13	14	-
Numérotation 2011-2012			Cig 14	Cig 10	Cig 11	Cig 12	Cig 13	Cig 06	Cig 07	Cig 08	Cig 09	Cig 05	Cig 03	Cig 04	-	Cig 02	-	Cig 01
2006	Janvier	P5	0	1	1		1	1	1		1		1					
	Février	P6	1	1	0		0	1	1		0		1					
	Avril	P7	1	1	0		0	1	1		0		1					
	Mai	P8	1	0	0		0	1	1		1		1					
	Juin	P9	1	1	1		1	1	-		1		1					
	Août	P10	1	1	1		1	1	1		0		1					
	Octobre	P11	1	1	1		1	1	1		0		1					
Novembre	P12	1	1	1		1	1	1		0		1						
2007	Août	P14	1	1	1		1	1	1	1	1	1						
	Octobre	P15	0	0	0		0	0	0	0	0	0						
	Novembre	P16	0	0	0		0	0	0	0	0	0						
2008	Janvier	P17	0	0	0		0	0	0	0	0	0						
	Avril	P18	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	Mai	P19	0	0	0		0	0	0	0	0	0						
	Juin	P20	0	0	0		0	0	0	0	0	0						
	Août	P21	0	0	0		0	0	0	0	0	0						
	Octobre	P22	0	0	0		0	0	0	0	0	0						
	Novembre	P23	0	0	0		0	0	0	0	0	0						
Décembre	P24	0	0	0		0	0	0	0	0	1							
2009	Janvier	P25	1	-	1		0	0	-	-	-	0						
	Mars	P26	0	0	0		0	0	0	0	0	0						
	Avril	P27	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	Juin	P28	0	0	0		0	0	1	0	0	0						
	Août	P29	0	0	0		0	0	1	0	0	0						
	Octobre	P30	0	0	0		0	0	1	0	0	0						
	Novembre	P31	0	0	0		0	0	1	0	0	0						
décembre	P32	1	0	0		0	0	1	0	0	0							
2010	Janvier	P33	1	0	1		0	0	1	0	0	1						
	Février	P34	1	0	0		0	0	1	0	0	0						
	Avril	P35	1	0	0		0	0	0	0	0	0						
	Mai	P36	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2011	Janvier	OEIL1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Février	OEIL2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Mars	OEIL3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Avril	OEIL4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Mai	OEIL5	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Juin	OEIL6	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0	1
	Juillet	OEIL7	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Août	OEIL8	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1
	Septembre	OEIL9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	2
	Octobre	OEIL10	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
	Novembre	OEIL11	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Décembre	OEIL12	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	Janvier	2012-Vale1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Février	2012-Vale2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mars	2012-Vale3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Avril	2012-Vale4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mai	2012-Vale5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juin	2012-Vale6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Juillet	2012-Vale7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Août	2012-Vale8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Septembre	2012-Vale9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Octobre	2012-Vale10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Novembre	2012-Vale11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Décembre	2012-Vale12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Annexe 4

Récolte des poissons 2008, 2009 et 2012 à Prony et données de toxicité. Poissons collectés en 2008 et 2009 au Port de Prony (1), à Bonne Anse (2) et à Port Boisé (3): caractéristiques de chaque spécimen (Identification, données biométriques) et classe de toxicité évaluée par le test N2A.

N° Zone	Zone	Réf	Famille	Espèce	Nom	Régime alimentaire	Poids frais (g)	Longueur de fourchette (cm)	Toxicité
2008									
1	Port de Prony	P04	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	820	36	Atox
1	Port de Prony	P05	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	500	31	Atox
1	Port de Prony	P06	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	500	32	Atox
1	Port de Prony	P07	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1 270	45	Atox
1	Port de Prony	P08	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1 540	47	Atox
1	Port de Prony	P53	Lethrinidae	<i>Lethrinus harak</i>	Bossu	IB	300	24	Tox+
1	Port de Prony	P58	Lethrinidae	<i>Lethrinus harak</i>	Bossu	IB	260	23	Atox
1	Port de Prony	P45	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	550	29	Atox
1	Port de Prony	P48	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	300	23	Atox
1	Port de Prony	P59	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	560	29	Atox
1	Port de Prony	P51	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	700	30	Tox+
1	Port de Prony	P46	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	580	33	Atox
1	Port de Prony	P47	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	800	38	Atox
1	Port de Prony	P50	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	340	27	Atox
1	Port de Prony	P52	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	340	28	Tox++
1	Port de Prony	P55	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	600	33	Tox+
1	Port de Prony	P54	Kyphosidae	<i>Kyphosus sydneyanus</i>	Ui-Ua	Omnivore	660	29	Atox
1	Port de Prony	P56	Kyphosidae	<i>Kyphosus sydneyanus</i>	Ui-Ua	Omnivore	900	32	Tox+
1	Port de Prony	P57	Kyphosidae	<i>Kyphosus sydneyanus</i>	Ui-Ua	Omnivore	700	31	Tox+
2	Bonne Anse	P30	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	900	35	Atox
2	Bonne Anse	P32	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1 660	43	Atox
2	Bonne Anse	P28	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1 650	47	Atox
2	Bonne Anse	P29	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1 060	42	Tox+
2	Bonne Anse	P31	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1 100	43	Tox+
2	Bonne Anse	P38	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	980	36	Atox
2	Bonne Anse	P42	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	1 700	43	Atox
2	Bonne Anse	P43	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	1 500	42	Atox
2	Bonne Anse	P44	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	1 800	42	Atox
2	Bonne Anse	P35	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1 200	38	Atox
2	Bonne Anse	P39	Scaridae	<i>Scarus altipinnis</i>	Perroquet	Herbivore	1 300	39	Atox
2	Bonne Anse	P40	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	900	34	Atox
2	Bonne Anse	P36	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	600	30	Tox++
2	Bonne Anse	P41	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	900	34	Atox
2	Bonne Anse	P33	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1 400	41	Atox
3	Port Boisé	P12	Acanthuridae	<i>Acanthurus xanthopterus</i>	Chirurgien	Herbivore	1 300	39	Atox
3	Port Boisé	P14	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	2 400	48	Atox
3	Port Boisé	P17	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	2 100	47	Atox
3	Port Boisé	P18	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	2 000	43	Atox
3	Port Boisé	P20	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	1 800	45	Atox
3	Port Boisé	P16	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1 200	38	Atox
3	Port Boisé	P19	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1 100	37	Atox
3	Port Boisé	P21	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1 000	34	Atox
3	Port Boisé	P22	Scaridae	<i>Scarus altipinnis</i>	Perroquet	Herbivore	500	31	Atox
3	Port Boisé	P24	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	1 100	36	Atox
3	Port Boisé	P26	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	600	30	Tox+
3	Port Boisé	P27	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	1 400	40	Atox
3	Port Boisé	P09	Serranidae	<i>Plectropomus laevis</i>	Saumonée	Carnivore	2 900	57	Atox
3	Port Boisé	P25	Serranidae	<i>Plectropomus laevis</i>	Saumonée	Carnivore	1 300	45	Tox+
3	Port Boisé	P13	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	2 300	54	Atox
3	Port Boisé	P15	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1 200	42	Atox
2009									
1	Port de Prony	P35	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	500	26	Atox
1	Port de Prony	P38	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	600	30	Atox
1	Port de Prony	P40	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	560	26	Atox
1	Port de Prony	P41	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	410	25	Atox
1	Port de Prony	P42	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	750	30	Atox
1	Port de Prony	P36	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	1000	33	Tox++
1	Port de Prony	P32	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1400	44	Atox
1	Port de Prony	P33	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	300	26	Atox
1	Port de Prony	P34	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1600	43	Atox
1	Port de Prony	P37	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	700	35	Tox+
1	Port de Prony	P39	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	950	37	Atox
1	Port de Prony	P46	Labridae	<i>Cheilinus chlorourus</i>	Labre	IB		21	Atox

1	Port de Prony	P43	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	1800	40	Atox
1	Port de Prony	P44	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	200	20	Tox+
1	Port de Prony	P45	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Molluscivore	340	23	Atox
2	Bonne Anse	P16	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	3000	45	Atox
2	Bonne Anse	P19	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	2100	42	Atox
2	Bonne Anse	P23	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	2500	43	Atox
2	Bonne Anse	P24	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	1400	39	Atox
2	Bonne Anse	P25	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	2000	42	Atox
2	Bonne Anse	P26	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	600	27	Atox
2	Bonne Anse	P27	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	600	27	Atox
2	Bonne Anse	P28	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	640	28	Atox
2	Bonne Anse	P29	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	600	28	Atox
2	Bonne Anse	P30	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	780	30	Atox
2	Bonne Anse	P31	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	460	26	Atox
2	Bonne Anse	P17	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1200	39	Atox
2	Bonne Anse	P18	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1000	38	Atox
2	Bonne Anse	P20	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	800	35	Atox
2	Bonne Anse	P21	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1000	38	Atox
2	Bonne Anse	P22	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1200	40	Atox
3	Port Boisé	P01	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	3500	48	Atox
3	Port Boisé	P04	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	3500	48	Atox
3	Port Boisé	P11	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	2200	43	Atox
3	Port Boisé	P12	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	2900	48	Atox
3	Port Boisé	P13	Acanthuridae	<i>Naso unicornis</i>	Dawa	Herbivore	1400	39	Atox
3	Port Boisé	P02	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1100	35	Atox
3	Port Boisé	P05	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1100	35	Atox
3	Port Boisé	P10	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1800	40	Atox
3	Port Boisé	P14	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1700	40	Atox
3	Port Boisé	P15	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet	Herbivore	1200	37	Atox
3	Port Boisé	P03	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	900	36	Atox
3	Port Boisé	P06	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	700	35	Atox
3	Port Boisé	P07	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	710	35	Atox
3	Port Boisé	P08	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1500	45	Atox
3	Port Boisé	P09	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Saumonée	Carnivore	1100	38	Atox
2012									
1	Bonne Anse 1	37	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	1560	47	Atox
1	Bonne Anse 1	39	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	795	40	Atox
1	Bonne Anse 1	40	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	445	34	Atox
1	Bonne Anse 1	38	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	810	38,5	Tox+
1	Bonne Anse 1	32	Scaridae	<i>Chlorurus sordidus</i>	Perroquet sale	Herbivore	685	31	Atox
1	Bonne Anse 1	33	Scaridae	<i>Chlorurus sordidus</i>	Perroquet sale	Herbivore	550	29	Atox
1	Bonne Anse 1	34	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	385	29	Atox
1	Bonne Anse 1	36	Scaridae	<i>Scarus niger</i>	Perroquet	Herbivore	375	27,5	Atox
1	Bonne Anse 1	35	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	350	27	Tox+
1	Bonne Anse 2	42	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	1150	45	Atox
1	Bonne Anse 2	43	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	810	41,5	Atox
1	Bonne Anse 2	48	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	565	34	Atox
1	Bonne Anse 2	49	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	1095	43,5	Atox
1	Bonne Anse 2	41	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	1025	44,5	Tox+
1	Bonne Anse 2	50	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	655	38	Tox+
1	Bonne Anse 2	54	Scaridae	<i>Chlorurus sordidus</i>	Perroquet sale	Herbivore	420	28	Atox
1	Bonne Anse 2	51	Labridae	<i>Choerodron graphicus</i>	Perroquet wallis	Herbivore	1920	46	Tox+
1	Bonne Anse 2	52	Scaridae	<i>Scarus frenatus</i>	Perroquet	Herbivore	910	35,5	Tox+
2	Baie Kwe 1	1	Serranidae	<i>Plectropomus maculatus</i>	Loche saumonée	Carnivore	2340	55,5	Tox+
2	Baie Kwe 1	2	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	1100	43	Tox++
2	Baie Kwe 1	3	Serranidae	<i>Plectropomus laevis</i>	Loche saumonée	Carnivore	580	37	Tox++
2	Baie Kwe 2	17	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	1805	49,3	Atox
2	Baie Kwe 2	18	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	865	38,8	Atox
2	Baie Kwe 2	8	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	560	33,5	Tox+
2	Baie Kwe 2	15	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	950	40,5	Tox++
2	Baie Kwe 2	16	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	2400	55,5	Tox++
2	Baie Kwe 2	6	Scaridae	<i>Scarus schlegeli</i>	Perroquet	Herbivore	225	28	Atox
2	Baie Kwe 2	5	Scaridae	<i>Scarus schlegeli</i>	Perroquet	Herbivore	475	30,8	Tox+
2	Baie Kwe 2	7	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	490	31,6	Tox+
2	Baie Kwe 2	10	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	380	26	Tox+
2	Baie Kwe 2	12	Scaridae	<i>scarus altipinnis</i>	Perroquet	Herbivore	835	34,6	Tox+
2	Baie Kwe 2	13	Scaridae	<i>Chlorurus sordidus</i>	Perroquet sale	Herbivore	715	31,5	Tox+
2	Baie Kwe 2	4	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	490	29,8	Tox++
2	Baie Kwe 2	11	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	750	33	Tox++
2	Baie Kwe 2	14	Scaridae	<i>Chlorurus microrhinos</i>	Perroquet bleu	Herbivore	1120	36,4	Tox++
2	Baie Kwe 3	26	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	750	38,5	Tox+
2	Baie Kwe 3	29	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	2840	60	Tox+
2	Baie Kwe 3	25	Scaridae	<i>Scarus rivulatus</i>	Perroquet	Herbivore	705	31	Atox
2	Havannah/loro	147	Lutjanidae	<i>Lutjanus adetii</i>	Rouget de nuit	Carnivore	625	32	Atox
2	Havannah/loro	136	Serranidae	<i>Epinephelus maculatus</i>	Loche de sable	Carnivore	910	35	Tox+
2	Havannah/loro	129	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	2400	53	Tox++
2	Havannah/loro	130	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	2420	52,5	Tox++
2	Havannah/loro	132	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	2995	55,5	Tox++
2	Havannah/loro	133	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	1860	48	Tox++
2	Havannah/loro	134	Serranidae	<i>Plectropomus leopardus</i>	Loche saumonée	Carnivore	1115	41	Tox++

2	Havannah/loro	135	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	2160	50	Tox++
2	Havannah/loro	137	Scaridae	Scarus forstenu	Perroquet	Herbivore	760	30	Atox
2	Havannah/loro	139	Scaridae	Scarus niger	Perroquet	Herbivore	565	29	Atox
2	Havannah/loro	140	Scaridae	Scarus rivulatus	Perroquet	Herbivore	880	34	Atox
2	Havannah/loro	141	Scaridae	Scarus frenatus	Perroquet	Herbivore	765	34	Atox
2	Havannah/loro	143	Scaridae	Scarus rubroviolaceus	Perroquet	Herbivore	2825	53	Atox
2	Havannah/loro	144	Scaridae	Scarus rubroviolaceus	Perroquet	Herbivore	1995	46	Atox
2	Havannah/loro	145	Scaridae	Chlorurus microrhinos	Perroquet bleu	Herbivore	2760	52	Atox
2	Havannah/loro	146	Scaridae	Scarus ghobban	Perroquet	Herbivore	1570	43	Atox
3	Goro/Toémo	62	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	1315	46,5	Atox
3	Goro/Toémo	63	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	640	37	Atox
3	Goro/Toémo	64	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	400	47,5	Atox
3	Goro/Toémo	66	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	375	31	Atox
3	Goro/Toémo	67	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	545	35,5	Atox
3	Goro/Toémo	61	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	815	39	Tox+
3	Goro/Toémo	65	Serranidae	Plectropomus laevis	Loche saumonée	Carnivore	480	70	Tox+
3	Goro/Toémo	69	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	895	41	Tox+
3	Goro/Toémo	71	Serranidae	Plectropomus laevis	Loche saumonée	Carnivore	1700	51	Tox+
3	Goro/Toémo	75	Scaridae	Chlorurus microrhinos	Perroquet bleu	Herbivore	3650	55	Atox
3	Goro/Toémo	77	Scaridae	Chlorurus sordidus	Perroquet sale	Herbivore	570	30,5	Atox
3	Goro/Toémo	78	Scaridae	Cetoscarus bicolor	Perroquet	Herbivore	1260	40,5	Atox
3	Goro/Toémo	79	Scaridae	Scarus priantus	Perroquet	Herbivore	775	35	Atox
3	Goro/Toémo	81	Scaridae	Chlorurus microrhinos	Perroquet bleu	Herbivore	915	37,5	Atox
3	Goro/Toémo	82	Scaridae	Scarus frenatus	Perroquet	Herbivore	850	35	Atox
3	Goro/Toémo	83	Scaridae	Scarus ghobban	Perroquet	Herbivore	370	29	Atox
3	Goro/Toémo	84	Scaridae	Chlorurus microrhinos	Perroquet bleu	Herbivore	375	40,5	Atox
3	Goro/Toémo	85	Scaridae	Scarus frenatus	Perroquet	Herbivore	585	31	Atox
3	Goro/Toémo	86	Scaridae	Cetoscarus bicolor	Perroquet	Herbivore	1080	38	Atox
3	Goro/Toémo	76	Scaridae	Chlorurus microrhinos	Perroquet bleu	Herbivore	1120	39,5	Tox+
4	Ile Ouen 1	103	Scaridae	Scarus rivulatus	Perroquet	Herbivore	550	31,5	Atox
4	Ile Ouen 1	104	Scaridae	Scarus rivulatus	Perroquet	Herbivore	640	33	Atox
4	Ile Ouen 2	112	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	480	28	Atox
4	Ile Ouen 2	113	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	420	27,5	Atox
4	Ile Ouen 2	116	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	1890	52	Atox
4	Ile Ouen 2	118	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	645	37	Atox
4	Ile Ouen 2	119	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	2150	55	Atox
4	Ile Ouen 2	121	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	1180	48	Atox
4	Ile Ouen 2	111	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	680	34,5	Tox+
4	Ile Ouen 2	115	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	2580	53	Tox+
4	Ile Ouen 2	117	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	973	44,5	Tox++
4	Ile Ouen 2	120	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	930	39,5	Tox++
4	Ile Ouen 2	122	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	3560	65,5	Tox++
4	Ile Ouen 2	123	Serranidae	Plectropomus leopardus	Loche saumonée	Carnivore	2565	57,5	Tox++
4	Ile Ouen 2	105	Scaridae	Scarus frenatus	Perroquet	Herbivore	830	35	Atox
4	Ile Ouen 2	106	Scaridae	Chlorurus microrhinos	Perroquet bleu	Herbivore	565	28,5	Atox
4	Ile Ouen 2	107	Scaridae	Chlorurus sordidus	Perroquet sale	Herbivore	750	34	Atox
4	Ile Ouen 2	109	Scaridae	Chlorurus sordidus	Perroquet sale	Herbivore	1055	34	Atox
4	Ile Ouen 2	110	Scaridae	Chlorurus sordidus	Perroquet sale	Herbivore	525	28,5	Atox
4	Ile Ouen 2	108	Scaridae	Scarus ghobban	Perroquet	Herbivore	1205	37,5	Tox+