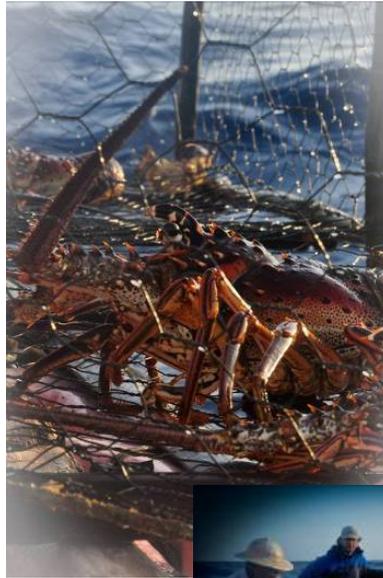


**Etude de la contamination de la langouste blanche
Panulirus argus et de la langouste brésilienne *P.
guttatus* par la chlrodécone le long de la côte
atlantique de la Martinique**

Campagnes 2011



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

DAAF - Martinique

Ont participé aux travaux

J.A. Bertrand**, C. Dromer* et L. Reynal*

* Ifremer-Martinique, ** Ifremer-Nantes

Les prélèvements sur le terrain ont été réalisés par Jérôme Lettelier (Impact-Mer) et Clément Dromer (Ifremer) auprès de pêcheurs professionnels de Martinique.

Analyses de chlordécone réalisées par le laboratoire Idhesa Bretagne Océane - Plouzané

Les auteurs remercient Xavier Bodiguel pour sa contribution à l'élaboration du plan d'observation du présent projet.

Les auteurs remercient particulièrement Jacques Denis, délégué Ifremer Antilles, pour son soutien permanent à l'ensemble des travaux, et notamment pour le montage du projet, l'élaboration du cahier des charges, la mise à disposition des moyens de la station Ifremer du Robert, et l'organisation des rencontres avec les professionnels pour la restitution des résultats.

Financement. La présente étude a bénéficié de financements de la DSV de Martinique et de l'Ifremer (Lettre-contrat Ifremer n° 11/5210705/F). Elle a été réalisée dans le cadre du plan Chlordécone 2008-2010.

Citation. Bertrand J. A., C. Dromer et L. Reynal, 2012. Etude de la contamination de la langouste blanche *Panulirus argus* et de la langouste brésilienne *P. guttatus* par la chlordécone le long de la côte atlantique de la Martinique. Campagnes 2011. Ifremer, Martinique. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00088/19971/>. 37 p.

Numéro d'identification du rapport :		date de publication Août 2012
Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/>		nombre de pages : 37
Validé par :		bibliographie (Oui)
Version du document :		illustration(s) (Oui)
		langue du rapport Français
Titre et sous-titre du rapport		
Etude de la contamination de la langouste blanche <i>Panulirus argus</i> et de la langouste brésilienne <i>P. guttatus</i> par la chlordécone le long de la côte atlantique de la Martinique. Campagnes 2011		
Titre traduit		
Contamination of the spiny lobsters by kepone along the eastern coasts of the Martinique island (WFI). Survey 2011		
Auteur(s) principal(aux) J.A. Bertrand**, C. Dromer* et L. Reynal*	Organisme / Direction / Service, laboratoire *Délégation des Antilles - Station du Robert **Département Ressources biologiques et environnement - Nantes	
Collaborateur(s) :	Organisme / Direction / Service, laboratoire DAAF (SALIM)-Martinique	
Résumé		
<p>La langouste blanche <i>Panulirus argus</i> et la langouste brésilienne <i>P. guttatus</i> représentent environ 25 % du chiffre d'affaires des pêcheurs professionnels de Martinique. Une part très importante des captures de ces espèces proviennent du platier continental de la zone centre-atlantique de l'île. L'étude réalisée en 2011 visait à approfondir les connaissances sur la distribution de la contamination par la chlordécone des langoustes dans la zone centre-atlantique de la Martinique, d'explorer d'éventuelles relations entre cette contamination et des paramètres biologiques des individus comme la taille, le sexe et leur pigmentation tégumentaire, et d'analyser la différence de contamination entre la queue et les chairs molles du céphalothorax, en vue d'aider à la définition de mesures de réglementation de la pêche dans ce secteur.</p> <p>L'étude s'appuie sur un ensemble de 125 échantillons rassemblés de 2008 à 2010 pour les deux espèces autour de la Martinique, complétés par 200 échantillons constitués pour la présente étude dans la zone centre-atlantique en 2011. Le rapport est précédé d'un rappel d'éléments sur la biologie et sur l'état de la pêche des langoustes en Martinique.</p> <p>Pour les deux espèces, l'étude met en évidence une extension de la contamination à l'ensemble du platier corallien au pied des bassins versants contaminés, puis une nette diminution au-delà. Pour la langouste blanche, cette contamination est en relation avec la taille des individus, en liaison avec leur plongée progressive vers le large. Cette relation avec la taille est moins marquée pour la langouste brésilienne, espèce beaucoup plus inféodée aux eaux littorales. Pour les deux espèces, les chairs molles du céphalothorax apparaissent plus de deux fois plus contaminées que le muscle caudal.</p> <p>Les différences de contamination observées entre la langouste blanche et la langouste brésilienne sont cohérentes avec les connaissances sur la biologie de chaque espèce.</p>		
Abstract		
<p>Spiny lobsters are an important component of the coastal fisheries around the Martinique island. This study aimed to assess the contamination by kepone of the two main species <i>Panulirus argus</i> and <i>P. guttatus</i> in the main fishery area laying along the eastern coast of Martinique. The objectives of the study were to describe the distribution of the spiny lobster contamination in the area, to explore possible relationships with some biological parameters such as individual size, sex and colour of tegument, as well as characterize difference of kepone concentration between the muscle and soft flesh of the head, in view of helping the definition of further fishery management measures. The analyses were done from chemical analyses of 125 samples of spiny lobsters gathered from 2008 to 2010 all around the island, and from a specific set of 200 new observations from a specific survey carried out in 2011 in the study area.</p> <p>For both species, the results show a diffusion of the contamination all over the coral shoals, close to contaminated catchment basins, with a strong decrease just outside these areas. For the Caribbean spiny lobster, a strong relationship between kepone concentration and individual size was identified, and less for the Spotted spiny lobster. For the two species, the concentration of kepone found in soft flesh of the head was more than twice as in the muscle. Finally, the difference of contamination between the two species appeared strongly linked with their biology.</p>		

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
[I] ELEMENTS DE CONTEXTE SUR LA BIOLOGIE ET LA PECHE DES LANGOUSTES EN MARTINIQUE.....	1
I.1 ELEMENTS DE BIOLOGIE DE LA LANGOUSTE BLANCHE ET DE LA LANGOUSTE BRESILIENNE	1
I.2 L'ETAT DES STOCKS DE LANGOUSTES	2
I.3 LA PECHE DES LANGOUSTES AUTOUR DE LA MARTINIQUE EN 2009	4
I.4 LES ZONES INTERDITES A LA PECHE PAR L'ARRETE PREFECTORAL DE 2010	5
[II] MATERIEL ET METHODE.....	5
II.1 ECHANTILLONNAGES DE 2008 A 2010	5
II.2 PLAN D'ECHANTILLONNAGE POUR LA PRESENTE ETUDE.....	6
II.3 CHOIX DE LA METRIQUE POUR INTERPRETER LES RESULTATS D'ANALYSE SOUS LE SEUIL DE QUANTIFICATION	10
[III] RESULTATS.....	11
III.1 REPARTITION SPATIALE DE LA CONTAMINATION DE LA LANGOUSTE BLANCHE <i>P. ARGUS</i> ET DE LA LANGOUSTE BRESILIENNE <i>P. GUTTATUS</i> DANS LA ZONE CENTRE-ATLANTIQUE	11
III.1.1 <i>Langouste blanche P. argus</i>	12
III.1.2 <i>La langouste brésilienne P. guttatus</i>	13
III.2 RELATION ENTRE LA TAILLE DES INDIVIDUS ET LA CONCENTRATION EN CHLORDECONE	14
III.2.1 <i>Langouste blanche P. argus</i>	15
III.2.2 <i>Langouste brésilienne P. guttatus</i>	16
III.3 APPROCHE ZONALE DE LA DISTRIBUTION DE LA CONTAMINATION DES LANGOUSTES PAR SEUILS DE TAILLE AUTOUR DE LA MARTINIQUE.....	17
III.3.1 <i>Langouste blanche P. argus</i>	19
III.3.2 <i>Langouste brésilienne P. guttatus</i>	22
III.4 CONTAMINATION DES LANGOUSTES AUTOUR DE LA MARTINIQUE EN RELATION AVEC LE ZONAGE DE L'ARRETE PREFECTORAL DE 2010	23
III.4.1 <i>Langouste blanche P. argus</i>	24
III.4.2 <i>Langouste brésilienne P. guttatus</i>	25
III.5 RELATION ENTRE LE SEXE ET LA CONCENTRATION EN CHLORDECONE	26
III.5.1 <i>Langouste blanche P. argus</i>	26
III.5.2 <i>Langouste brésilienne P. guttatus</i>	26
III.6 RELATION ENTRE LA PIGMENTATION DU TEGUMENT DE LA LANGOUSTE BLANCHE ET LA CONCENTRATION EN CHLORDECONE.....	27
III.6.1 <i>Répartition spatiale des échantillons selon la couleur du tégument</i>	28
III.6.2 <i>Relation entre la coloration du tégument et la concentration en chlordécone</i>	28
III.6.3 <i>Conclusion de l'analyse de la relation avec la pigmentation de la langouste blanche</i>	29
III.7 COMPARAISON DE LA CONCENTRATION EN CHLORDECONE ENTRE LE CEPHALOTHORAX ET LA QUEUE POUR <i>P. ARGUS</i> ET <i>P. GUTTATUS</i>	29
III.8 RESULTATS POUR <i>CARPILIUS CORALLINUS</i> ET <i>PARRIBACUS ANTARCTICUS</i>	30
[IV] CONCLUSION	30
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	31
ANNEXE 1. MODELE DE FICHE DE TERRAIN	33
ANNEXE 2. DISTINCTION ENTRE ESPECES ET SEXES CHEZ <i>P. ARGUS</i> ET <i>P. GUTTATUS</i>.....	34
ANNEXE 3. COMPARAISON D'OPTIONS DE GESTION DES VALEURS SOUS LE SEUIL DE QUANTIFICATION CHEZ LA LANGOUSTE BLANCHE <i>P. ARGUS</i>.....	35
COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LES TROIS HYPOTHESES	37

Introduction

En Martinique, la principale zone de pêche côtière se situe dans la partie sud de la façade Atlantique, seul secteur présentant un petit plateau continental bordé par une barrière corallienne (Farrugio & Saint-Felix 1975). Dans cette zone, la langouste blanche *Panulirus argus* et la langouste brésilienne *P. guttatus* représentent une part importante du potentiel halieutique (21 % du poids des captures lors de pêches expérimentales réalisées en 1974-75, Farrugio & Saint-Felix 1975). Actuellement, ces deux espèces restent les deux principales espèces de langoustes pêchées en Martinique où elles contribuent significativement à la production halieutique.

La chlordécone, molécule organochlorée stable utilisée comme pesticide pour l'agriculture et en particulier dans les bananeraies des Antilles françaises entre 1972 et 1993 diffuse vers la mer où elle peut se retrouver dans les systèmes et dans les organismes marins (Bouchon & Lemoine 2003; Bocquené & Franco 2005; Bouchon & Lemoine 2007; Bertrand *et al.* 2009; Bertrand *et al.* 2010; Bodiguel *et al.* 2011; Coat *et al.* 2011; Robert 2012). Comme la majorité des crustacés côtiers, les langoustes sont particulièrement exposées à la contamination par la chlordécone, en raison de leur mode d'alimentation et de leur fréquentation des fonds très littoraux pendant tout ou partie de leur vie. En effet, des mesures de contamination effectuées entre 2008 et 2009 sur les deux principales espèces de langoustes dans différents secteurs de la Martinique (Bertrand *et al.* 2009) montrent la possibilité d'y relever dans certaines conditions des teneurs en chlordécone supérieures à la norme de 20 µg/kg pf (Anon. 2008). Ce constat a conduit les autorités à prendre des mesures particulières de réglementation de la pêche, et en particulier l'arrêté préfectoral N° 10-3275 du 7 octobre 2010 (Anon. 2010) qui définit des zones d'interdiction de pêche autour de l'île. Cet arrêté prévoyait également la réalisation d'une étude complémentaire sur la contamination des langoustes de la zone centre-atlantique de la Martinique en vue d'une adaptation éventuelle des mesures.

L'étude réalisée pour répondre à cette attente et dont les principaux résultats sont présentés ci-dessous portait sur les objectifs suivants : (i) renforcer la connaissance sur la distribution de la contamination des langoustes dans la zone centre-sud atlantique, (ii) explorer d'éventuelles relations entre cette contamination et des paramètres biologiques des individus comme la taille, le sexe et leur pigmentation tégumentaire, et (iii) analyser la différence de contamination entre la queue et les chairs molles du céphalothorax. Le rapport est précédé d'un rappel d'éléments sur la biologie et sur l'état de la pêche des langoustes en Martinique.

[I] Eléments de contexte sur la biologie et la pêche des langoustes en Martinique

1.1 Eléments de biologie de la langouste blanche et de la langouste brésilienne

Les deux espèces de langoustes les plus rencontrées en Martinique sont endémiques de la zone Caraïbe. La langouste blanche *Panulirus argus* est grégaire et migrante (Carpenter 2002). Les stades jeunes se trouvent en zone littorale peu profonde. Les plus petits individus de taille comprise entre 16 à 44 mm de longueur céphalothoracique (Lct) se nourrissent de nuit à la sortie de leur refuge. Entre 45 et 50 mm ils commencent à élargir leur zone d'alimentation (Herrnkind & Butler 1986; Butler & Herrnkind 1997; Cruz 1999). En zone côtière de Martinique, cette espèce se nourrirait en partie sur des fonds vaseux. En grandissant, les individus s'éloignent vers le large. En Martinique, Gobert (1991) a mis en évidence une augmentation de la taille des langoustes blanches avec la profondeur, dans les prises des pêcheurs professionnels. Les femelles gravides migrent jusqu'à l'accore pour pondre (Buesa 1972; Fonteles-Filho & Correa Ivo 1980; Herrnkind 1980; Gregory *et al.* 1982). Selon Farrugio (1976), la faible fréquence d'observation de femelles gravides le long des côtes de Martinique serait due à cette migration des femelles vers les profondeurs. La taille à la première reproduction des populations exploitées varie entre 75 et 85 mm de longueur céphalothoracique ; dans les populations vierges de Dry Tortuga, elle atteint 105 mm (Lct) (Lyons *et al.* 1981). En Martinique, la plus petite femelle portant des œufs externes observée par Farrugio (1976) mesurait 75 mm (Lct ; 204 mm en longueur totale).

Dans la Caraïbe, des femelles grainées sont observées tout au long de l'année, sauf de juillet à septembre. La période de ponte serait la plus intense entre le printemps et l'automne (Cruz 1980; Lyons *et al.* 1981; Soares & Cavalcante 1984; Castaño & Cadima 1993). En Martinique, la période durant laquelle l'activité sexuelle est la plus importante se situe en général entre les mois de mars et de juillet (Farrugio 1976).

Comme chez la majorité des crustacés, la croissance des langoustes se fait par mues successives dont le rythme et l'amplitude se réduisent avec l'âge (Fig. 1).

La langouste brésilienne *P. guttatus* est une espèce vivant sur des fonds rocheux dans les eaux peu profondes (Carpenter 2002). Sa taille adulte est plus petite que celle de la langouste blanche. Farrugio (1976) signale que 2 % des individus pêchés sont de taille inférieure à celle de leur première maturité et que les stades post-larvaires et juvéniles de quelques centimètres n'ont pas été trouvés dans les mangroves et les herbiers de la frange littorale où l'on trouve en abondance de jeunes *P. argus* de 2 mm de longueur totale. Les pueruli de cette espèce restent toute l'année dans de petits trous sur la face inférieure des récifs. Cette langouste peut rester dans le même abri et sort de son trou la nuit pour se nourrir au-dessus du récif (Sharp *et al.* 1997).

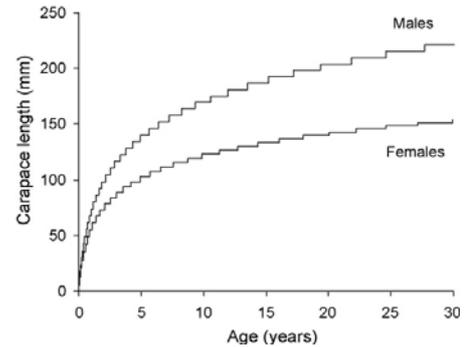


Fig. 1. Croissance de la langouste blanche *P. argus* en Floride (d'après Ehrhardt 2008).

1.2 L'état des stocks de langoustes

Des éléments d'évaluation des stocks de langoustes blanche et brésilienne ont été donnés par Gobert (1991) à partir de données collectées en 1987. Cette année les débarquements de langoustes s'élevaient à 96,6 t, comprenant 67,1 t de langouste blanche, 29,0 t de langouste brésilienne, le reste étant constitué d'espèces plus rares comme *Justitia longimana*, *Panulirus laevicauda* ou *Palinurellus gundlachi* (Farrugio 1975). Pratiquement toutes les langoustes brésiennes débarquées étaient adultes, alors que 60 % des langoustes blanches avaient une taille inférieure à 22 cm, la limite réglementaire en dessous de laquelle la pêche est interdite (arrêté préfectoral n° 84.1870 du 27/09/1984).

L'analyse du stock de langouste blanche faite en 1987 montre que le respect de la taille réglementaire permettrait un gain relatif de production de 40 %. La réduction de l'effort de pêche de 2/3 se traduirait par un gain de production relatif de 30 %, et la combinaison des deux mesures donnerait à terme un gain relatif de 50 %. La même année, la langouste brésilienne ne présentait aucun signe de surexploitation.

La forte proportion de langouste blanche débarquée sous taille est expliquée ainsi par Gobert (1991) : les fréquences de taille établies par engin et par strate de profondeur à partir de données collectées en 1987 montrent que sur la principale zone de pêche de cette espèce, entre 0 et 30 m où se font actuellement 77 % des captures de langouste blanche, est une nourricerie (Fig. 2). Les langoustes y ont majoritairement moins de 22 cm de longueur totale (8 cm de Lct).

Les langoustes blanches adultes se trouvent dans des zones plus profondes qui semblent mal connues des professionnels. Au-delà de 30 m de profondeur, le plateau sud-est de la Martinique semble constitué de sables grossiers à très grossiers avec par endroit des blocs de corail dispersés (Augris 2000) (Fig. 3). Une prospection des zones plus profondes serait à réaliser en vue de favoriser la pêche des langoustes blanches adultes. Ces prospections pourraient commencer par les zones à blocs de corail ou sur l'accore, substrats pouvant constituer des abris potentiels pour cette espèce.

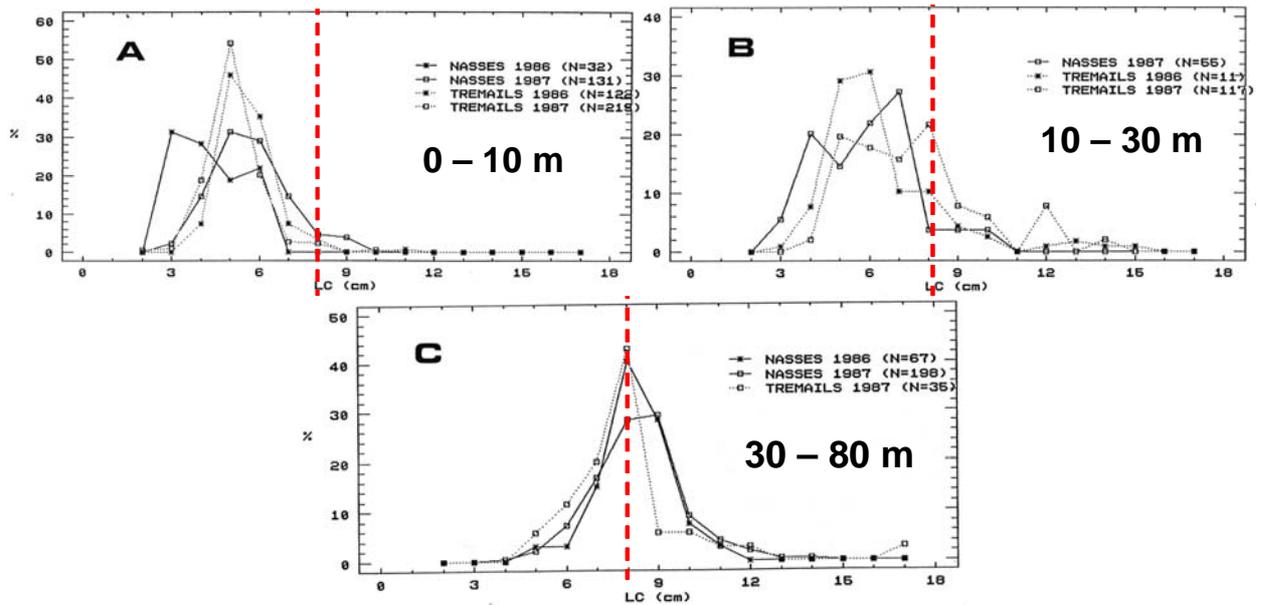


Fig. 2. Distribution des tailles de la langouste blanche selon la sonde (en pourcentage), d'après des échantillonnages de la pêche martiniquaise de 1986-87 (d'après Gobert 1991). Avec LC longueur céphalothoracique ; tireté rouge : LC correspondant à la longueur totale de 22 cm.

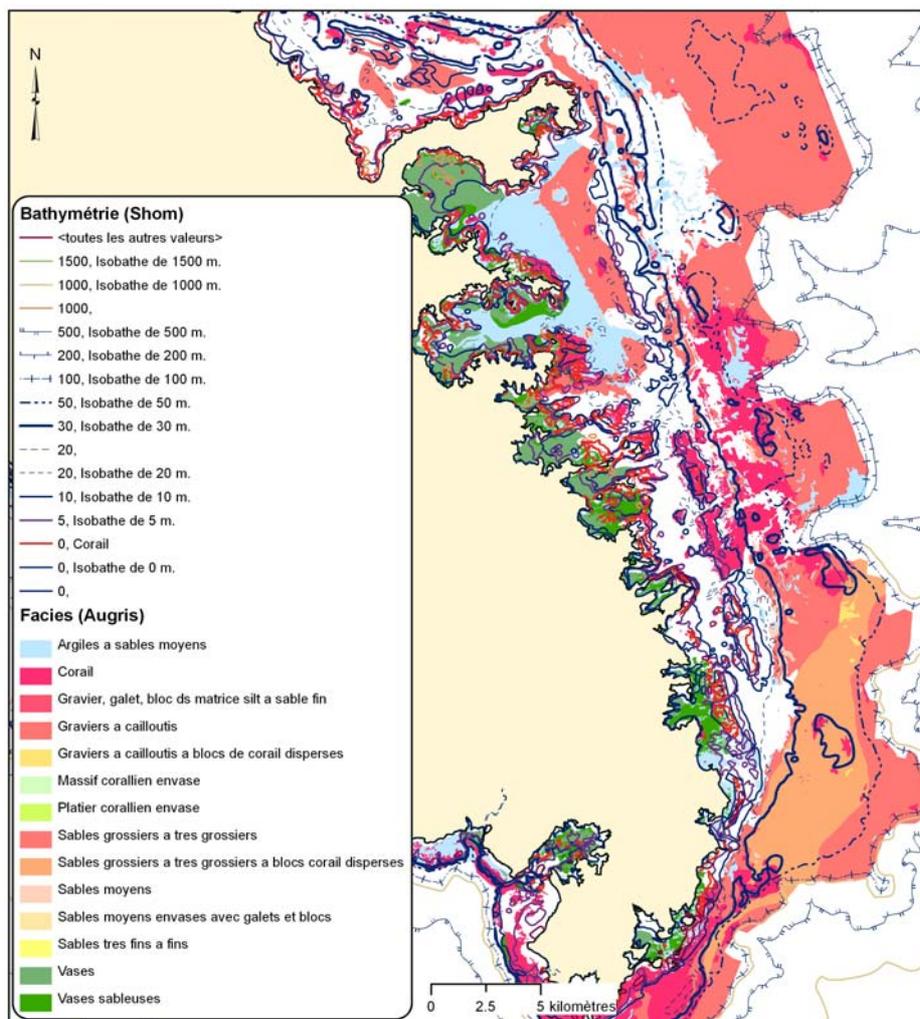


Fig. 3. Extrait de la carte des formations superficielles du plateau insulaire de la Martinique (d'après Augris 2000).

1.3 La pêche des langoustes autour de la Martinique en 2009

D'après l'évaluation réalisée pendant la première année de mise en œuvre du système d'informations halieutiques (SIH) de l'Ifremer, 41,6 tonnes de langoustes ont été capturées par les pêcheurs professionnels autour de la Martinique en 2009. Ces langoustes sont pêchées en apnée (9,6 t), à la nasse (6 t), au filet maillant fixe (6,3 t) ou au trémail (19,7 t). En 2009, 547 navires inscrits au fichier national de la flotte de pêche pratiquaient la pêche à la nasse, 228 au filet maillant fixe, 76 au trémail et 44 en plongée en apnée. Sur l'ensemble de la Martinique, les langoustes constituent 25 % en moyenne du chiffre d'affaires de ces navires (Tabl. 1). La langouste blanche est l'espèce la plus importante puisqu'elle représente 20 % de leur chiffre d'affaires. La rentabilité du trémail est essentiellement due à la langouste qui représente 64 % de son chiffre d'affaires. Cet engin est pratiquement le seul utilisé pour exploiter la langouste brésilienne.

Tabl. 1. Part des langoustes dans les débarquements de la pêche professionnelle de Martinique (d'après données du SIH).

Engin	Proportion de la valeur totale débarquée en 2009 (%)		
	<i>P. argus</i>	<i>P. guttatus</i>	Toutes langoustes
Nasse	23	0	23
Trémail	37	28	64
Plongée	25	0	25
Filet maillant de fond	8	8	16
Total	20	4	25

Si des langoustes peuvent être prises dans les engins cités ci-dessus dans le cadre de pêches multispécifiques, ces engins peuvent aussi être utilisés pour cibler particulièrement ces espèces. Elles sont alors en général capturées dans une proportion plus élevée. C'est ainsi que 59 entreprises de pêche ciblent les langoustes à l'aide de trémail, 52 à l'aide de filet maillant fixe, 52 à l'aide de casiers et 5 en plongée en apnée.

En 2009, la langouste blanche est surtout pêchée entre 10 et 30 m de profondeur (66 %). 13 % des prises étaient réalisées entre 30 et 50 m, 11 % à moins de 10 m et 10 % entre 50 et 100 m. C'est aussi entre 10 et 50 m de profondeur que la plupart des langoustes brésiliennes sont pêchées (69 %) ; les 31 % restant sont capturés à moins de 10 m.

La zone d'étude de la contamination de la langouste par la chlordécone ne se situe pas exactement dans les mêmes limites géographiques que les rectangles statistiques utilisés par le système d'informations halieutiques (SIH) (Fig. 4). Quatre rectangles sont concernés par la zone étudiée, MAC4 autour de la Caravelle et MAC5 plus au large, MAD4 et MAD5 au sud des précédents. C'est dans ces rectangles que s'effectue la plus grande part de la pêche à la langouste. En effet, 51 % des langoustes blanches débarquées en Martinique proviennent des zones MAC et MAD précédemment citées. Les zones MAC 4 et 5 produisent 30 % et les rectangles MAD 4 et 5, 22 % de ces langoustes. Pour la langouste brésilienne, c'est 83 % des prises qui sont faites dans ces zones avec 26 % en zones MAC et 57 % en MAD 4 et 5.

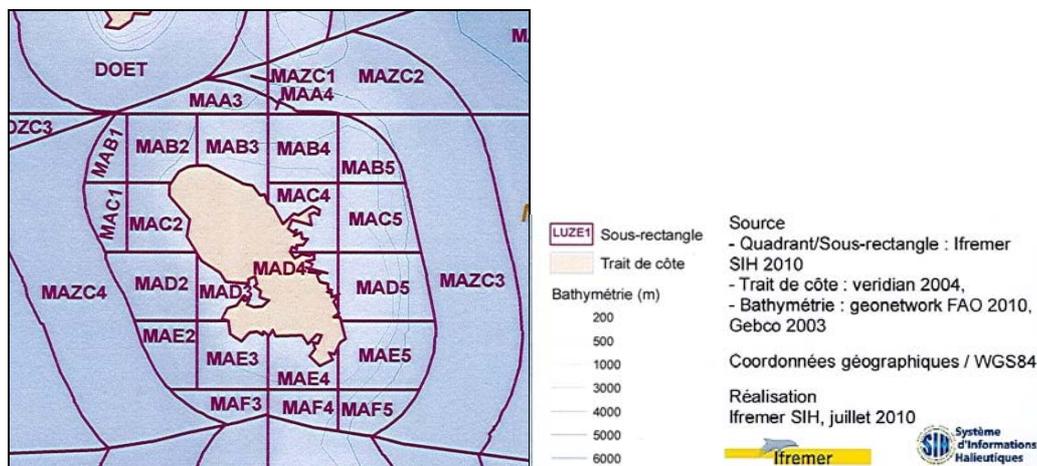


Fig. 4. Sous-rectangles statistiques des eaux marines de Martinique (codage SIH).

1.4 Les zones interdites à la pêche par l'arrêté préfectoral de 2010

L'arrêté préfectoral N° 10-3275 du 7 octobre 2010 (Anon. 2010) définit un ensemble de zones d'interdiction totale de pêche le long de la côte orientale de la Martinique et dans la baie de Fort-de-France (Fig. 5). Concernant la pêche aux langoustes, cet arrêté définit une zone complémentaire de réglementation sur la façade centre-atlantique de la Martinique, de la pointe de Caracoli au nord jusqu'à la passe du Vauclin au sud, et bordée à l'est par la sonde des trente mètres (Fig. 5).

Sur cette zone complémentaire, toute pêche de langoustes par les plaisanciers est interdite. Pour les marins-pêcheurs professionnels, l'arrêté y interdit la pêche de langouste blanche de taille inférieure à 22 cm (longueur totale, mesurée au niveau de l'insertion des pédoncules oculaires entre les processus supraorbitaires d'une part et l'extrémité du telson d'autre part ; interdiction déjà en vigueur pour l'ensemble de la Martinique au titre de la gestion des pêches ; arrêté préfectoral N° 84.1870 du 27/09/1984). Cette extension des limitations de pêche en 2010 était justifiée par les signes de contamination identifiés chez les langoustes à partir des échantillonnages réalisés entre 2008 et 2010 (Fig. 5).

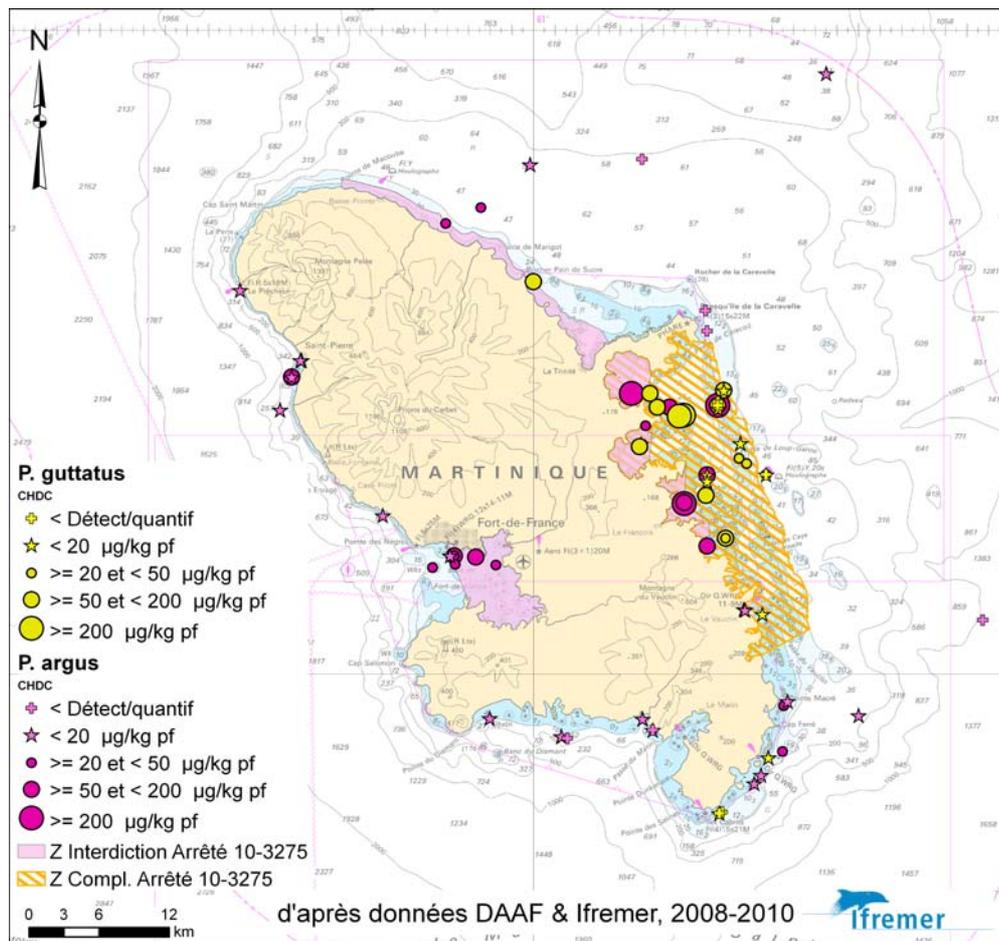


Fig. 5. Limites des zones d'interdiction (totale et complémentaire) de pêche de l'arrêté préfectoral N° 10-3275 du 7 octobre 2010 et contamination par la chlordécone de la langouste blanche *P. argus* et de la langouste brésilienne *P. guttatus* (d'après les données DAAF et Ifremer 2008 – 2010, fond de carte Shom).

[II] Matériel et méthode

La présente étude utilise l'ensemble des données sur la contamination des langoustes autour de la Martinique récoltées en mer par les services vétérinaires (ex-DSV et DAAF) et par l'Ifremer de 2008 à 2010, ainsi qu'un ensemble de données d'observations complémentaires réalisées pour la présente étude en 2011 dans la zone centre-atlantique de la Martinique.

II.1 Echantillonnages de 2008 à 2010

De 2008 à 2010, 83 échantillons de queue de langouste blanche *P. argus* et 42 de queue de langouste brésilienne *P. guttatus* ont été constitués à partir d'individus prélevés en mer autour de la

Martinique par les services vétérinaires de Martinique et par l'Ifremer, et géolocalisés par leur lieu de pêche (Tabl. 2).

Tabl. 2. Echantillonnages de 2008 à 2010 autour de la Martinique (DSV et Ifremer).

Année	MOA	<i>P. argus</i>	<i>P. guttatus</i>
2008	Ifremer	14	1
2008	DSV	11	5
2009	Ifremer	10	
2009	DSV	18	8
2010	DSV	30	28
Total		83	42

Ces échantillons mettent en évidence des valeurs relativement élevées de contamination des langoustes dans la zone centre-atlantique en dépit d'un assez faible échantillonnage (Fig. 5).

11.2 Plan d'échantillonnage pour la présente étude

L'objectif des prélèvements réalisés en 2011 était de compléter l'échantillonnage dans la zone centre-atlantique, de la presqu'île de la Caravelle au nord jusqu'au Vauclin au sud, et de la côte jusqu'aux sondes de 80 à 100 mètres. Il s'agissait de constituer des échantillons de langouste blanche *P. argus* et de langouste brésilienne *P. guttatus* répartis selon le plan d'échantillonnage décrit ci-dessous.

Le plan de prélèvement initial visait à favoriser une répartition équilibrée des 207 échantillons prévus, selon la bathymétrie (de la côte aux fonds de 80 à 100 m), selon la latitude (de la presqu'île de la Caravelle au cap Macré) et selon la taille des individus, à partir de la taille minimale réglementaire. Enfin, des informations complémentaires étaient recueillies sur le sexe et sur la coloration du tégument. Ainsi, ce plan d'échantillonnage fixait des objectifs généraux de répartition des prélèvements selon trois secteurs géographiques (nord, centre et sud), six niveaux de profondeur (sonde des 10 mètres près de la côte [codée 10], zone plus profonde entre la côte et la barrière [codée Int], la barrière [codée Barrière], sonde des 30 mètres [codée 30], sonde des 50 mètres [codée 50] et sonde des 80 – 100 mètres [codée 100]) (Fig. 6), et selon trois classes de taille pour chacune des deux espèces : [22-30[, [30-40[et ≥ 40 cm pour la langouste blanche et [14-16[, [16-18[et ≥ 18 cm pour la langouste brésilienne, à raison de trois échantillons répartis entre les deux sexes par strate. Pour chaque espèce, la limite inférieure définie était celle de sa taille réglementaire de pêche.

La collecte d'animaux de la macrofaune mobile marine est fortement dépendante des conditions d'accès aux individus, elles-mêmes sous l'influence de nombreux facteurs (comportement des individus, conditions météorologiques, etc.) susceptibles de contraindre la mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage. Ainsi, pour *P. guttatus*, le plan d'échantillonnage initial prévoyait des prélèvements dans les zones de 30 m, 50 m et 80/100 m. Or, les premières opérations de pêche conduites dans ces strates ont révélé une rareté de cette espèce. Seuls 12 échantillons ont pu être constitués sur les 48 prévus. L'échantillonnage a donc été complété par des prélèvements en individus de grande taille dans les zones côtières (non prévu initialement). Il est également à noter que certaines opérations de pêche au filet sur la barrière de corail dans les secteurs nord et centre ont conduit à des captures composées presque uniquement d'individus de sexe mâle. De nouveaux embarquements ont été réalisés pour compléter les prélèvements avec des échantillons de femelles.

Les prélèvements de langouste blanche sont plus en conformité avec le plan d'échantillonnage théorique, malgré quelques difficultés rencontrées dans la zone la plus profonde à l'intérieur de la barrière (codée Int), peu exploitée par les pêcheurs ayant participé à l'étude.

En outre, lors des premiers embarquements, l'observateur scientifique s'est rendu compte que la délimitation des classes de taille concernant *P. argus* ne correspondait pas avec les possibilités de prélèvement, la dernière catégorie des plus de 40 cm n'étant exploitée par les pêcheurs que durant les mois de décembre à janvier, alors que la période de l'étude s'étendait d'avril à novembre 2011. Les échantillons de la langouste blanche *P. argus* ont donc été réalloués selon les trois classes de taille suivantes : [22-25[cm, [25-30[cm et ≥ 30 cm.

Tous les prélèvements à la mer ont été réalisés par un scientifique embarqué avec des pêcheurs de langoustes du secteur. Les pêcheurs ayant montré un intérêt pour l'étude lors des réunions préliminaires ont été contactés. Ils ont renseigné les caractéristiques de leur navire, leur zone de pêche, leur engin de capture et la fréquence de leurs sorties. Lorsque les conditions météorologiques ont été jugées acceptables et que le patron pêcheur prévoyait une sortie à la langouste dans une zone

d'intérêt, l'observateur a contacté la direction de la Mer pour obtenir un accord d'embarquement pour les prélèvements au titre de l'étude.

Le prélèvement de l'ensemble des échantillons a impliqué une mobilisation de patrons de pêche des communes du Robert (1 navire), du François (2 navires) et du Vauclin (2 navires). Un total de 18 sorties en mer ont été réalisées pour la collecte des échantillons prévus dans le plan d'échantillonnage, se divisant en 12 sorties au filet à langouste, 3 sorties aux nasses profondes, 1 sortie en apnée et 2 sorties sans capture. Ces embarquements ont permis la réalisation de 46 opérations de pêche géoréférencées avec prélèvement d'au moins un échantillon par opération.

Au total, ce sont 287 individus qui ont été prélevés, ayant permis de constituer 207 échantillons (123 de muscle caudal et chairs molles du céphalothorax pour la langouste blanche *P. argus*, 77 de muscle caudal et chairs molles du céphalothorax pour la langouste brésilienne *P. guttatus*, et 7 d'individus entiers pour deux autres espèces : cigale savate *Parribacus antarcticus* (3 échantillons) et crabe corail *Carpilius corallinus* (4 échantillons ; Tabl. 3), selon la répartition géographique présentée sur la Fig. 7.

Tabl. 3. Echantillons de crustacés constitués en 2011 dans la zone centre-atlantique de la Martinique (Ifremer).

Année	Espèce	Queue	Céphalothorax	Entier
2011	<i>Carpilius corallinus</i>			4
2011	<i>Panulirus argus</i>	103	20	
2011	<i>Panulirus guttatus</i>	64	13	
2011	<i>Parribacus antarcticus</i>			3

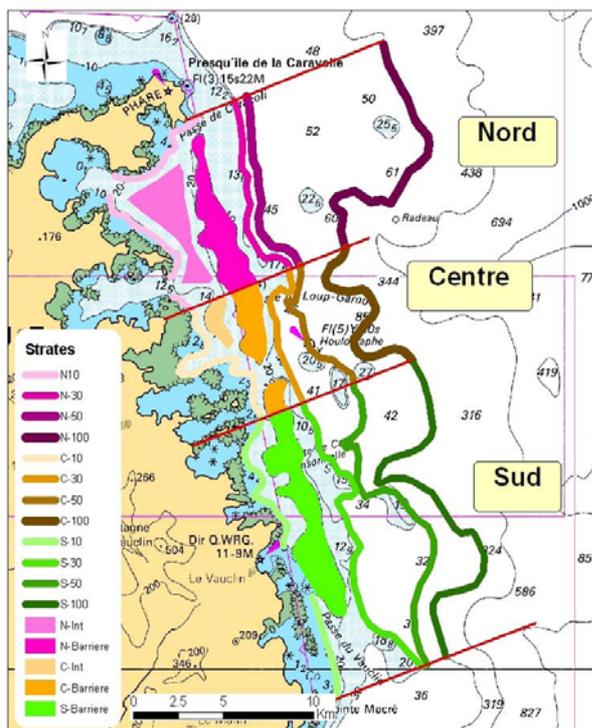


Fig. 6. Plan de stratification prévisionnel des échantillons.

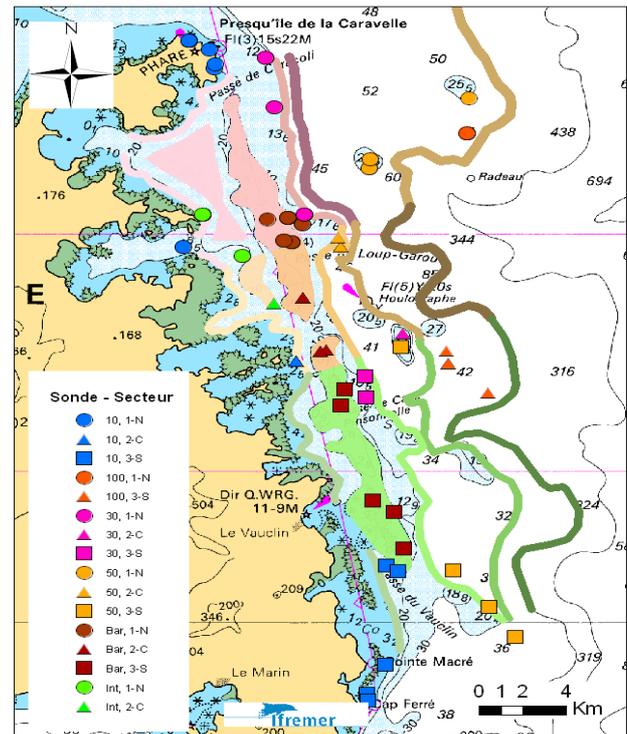


Fig. 7. Localisation des prélèvements de langoustes effectivement réalisés pendant la campagne de 2011 et leur allocation de terrain par niveau bathymétrique et par secteur.

Pour la langouste blanche, tous les échantillons ont été constitués à partir d'un seul individu. Pour la langouste brésilienne, une grande partie des échantillons ont été constitués à partir de deux individus. Dans ce cas, il s'agissait d'individus de même taille (au centimètre près en LT), de même sexe, et prélevés lors de la même opération de pêche.

L'étude portant en priorité sur la répartition de la contamination sur les deux espèces dominantes *P. argus* et *P. guttatus*, le muscle caudal (désigné par "queue" dans la suite du rapport) a été utilisé comme support pour ces comparaisons. Les échantillons de queue de ces deux espèces de langoustes sont répartis régulièrement entre les trois secteurs, avec toutefois un nombre d'échantillons un peu

plus élevé de *P. guttatus* en secteur nord (Tabl. 4). Les comparaisons entre céphalothorax et queue sur ces deux espèces ont été effectuées avec des échantillons pris en majorité sur le secteur nord, celui qui était réputé comme potentiellement le plus contaminé d'après les études antérieures. Les quelques échantillons des deux autres espèces n'ont été prélevés que sur une position dans le secteur centre.

Tabl. 4. Répartition des échantillons analysés par espèce, par secteur et type de matrice.

Espèce	Nom vernaculaire	Type de prélèvement	Nord	Centre	Sud
<i>Carpilius corallinus</i>	Crabe corail	Entier		5	
<i>Panulirus argus</i>	langouste blanche	Céphalothorax	11	9	
<i>Panulirus argus</i>	langouste blanche	Queue	34	30	39
<i>Panulirus guttatus</i>	langouste brésilienne	Céphalothorax	22	4	
<i>Panulirus guttatus</i>	langouste brésilienne	Queue	53	36	38
<i>Parribacus antarcticus</i>	cigale savate	Entier		6	

La répartition des échantillons de queue des deux espèces principales par secteur et par niveau bathymétrique est donnée dans le Tabl. 5.

Tabl. 5. Répartition des échantillons de queue de *P. argus* et de *P. guttatus* par secteur et profondeur.

Les intitulés des colonnes 1-10 à 6-100 renvoient aux niveaux bathymétriques de la Fig. 6.

Espèce	Nom vernaculaire	Secteur	10	Int	Barrière	30	50	100
<i>Panulirus argus</i>	langouste blanche	Nord	3	6	6	6	7	6
<i>Panulirus argus</i>	langouste blanche	Centre	3	3	12	5	7	
<i>Panulirus argus</i>	langouste blanche	Sud	4		6	7	13	9
<i>Panulirus guttatus</i>	langouste brésilienne	Nord	18	10	18	7		
<i>Panulirus guttatus</i>	langouste brésilienne	Centre	16		16		4	
<i>Panulirus guttatus</i>	langouste brésilienne	Sud	14		14	6	4	

II.2.1.1 Prélèvement des échantillons en mer

En mer, lors de la remontée de l'engin de pêche, l'observateur scientifique sélectionne les individus répondant aux critères définis dans le plan d'échantillonnage (strate, espèce, taille, sexe) puis renseigne pour chaque échantillon toutes les informations identifiées dans la fiche de terrain (modèle en Annexe 1). Il appose ensuite une marque, au niveau d'une des pattes ou antennes de l'individu, sur laquelle est indiquée l'opération et le numéro d'échantillon. Puis il stocke les langoustes dans une glacière compartimentée avec des pains de glace. Il renouvelle cette démarche pour chaque opération de pêche. Sur le terrain, une attention particulière est apportée pour que chaque triplicat soit composé de deux individus d'un sexe et un de l'autre.

Dans le cas de *P. guttatus*, où deux individus sont nécessaires pour avoir un poids de prélèvement suffisant, deux marques portant la lettre A ou B en plus des autres informations ont été utilisées. Ces deux individus ont toujours été capturés lors de la même opération, étant du même sexe et de la même classe de longueur.

Dès le débarquement, l'observateur indemnise le patron pêcheur en fonction du poids total des individus prélevés et se rend à la station Ifremer pour poursuivre leur traitement.

II.2.1.2 Traitement des échantillons à terre

Les échantillons sont traités au laboratoire par l'observateur scientifique et un agent de l'Ifremer. Une identification systématique des individus (espèce et sexe) ainsi qu'une mensuration (LT et LC) et un relevé du poids individuel sont effectués pour confirmer et compléter les informations recueillies en mer (voir en Annexe 2 la distinction de l'espèce et du sexe chez *P. argus* et *P. guttatus*). Chaque langouste est photographiée (voir paragraphe suivant). La phase de prélèvement de la partie à analyser est conduite dans de strictes conditions visant à éliminer les risques de surcontamination. Des gants en latex à usage unique sont utilisés pour chaque échantillon. Chaque langouste est découpée en deux entre le céphalothorax et la queue. La (ou les) partie(s) à analyser est pesée puis emballée dans un morceau de papier aluminium alimentaire. L'échantillon ainsi préparé est déposé dans un sachet plastique (Transplis Metalex) prévu pour le conditionnement, scellé par une bande adhésive. Comme convenu avec la DAAF de Martinique, un code barre (numéro DAP) est collé sur chaque sachet et recopié dans la partie *Observations* de la fiche de terrain. Puis, les échantillons sont congelés dans l'attente de leur expédition. Toutes les données notées sur la fiche de terrain sont saisies dans une base de données locale (sous Access).

II.2.1.3 Expédition et analyse des échantillons

Les échantillons ont été envoyés en quatre expéditions (23 mai, 5 juillet, 12 septembre et 7 novembre 2011) au laboratoire d'analyse Idhesa Bretagne Océane de Plouzané (29), via le transporteur Trans-Express Service. Les sachets contenant les prélèvements ont été regroupés dans des caisses isothermes en polystyrène comprenant également 3 kg de carboglace.

Le laboratoire Idhesa a réceptionné tous les colis dans les 48 h suivant l'expédition.

Au laboratoire, les échantillons ont été préparés selon le protocole suivant (Idhesa comm. pers.) :

- Queue de langouste non décortiquée : La partie analysée est constituée de la chair de la queue décortiquée à la main. La totalité de la chair de la queue de langouste est grattée soigneusement à la main et ajoutée à l'échantillon qui sera broyé ensuite dans son intégralité.
- Tête de langouste : La partie analysée est l'ensemble de la matière organique récupérée par grattage de l'intérieur du céphalothorax en récupérant la totalité des matières (la partie liquide, corail, matière orange, tous les tissus, chair brune, chair du thorax, etc.). L'ensemble de ces matières constituent l'échantillon pour analyse.
- Langouste entière : Application des recommandations de la note de service DGAL/SDSSA/N2011-8053 en date du 01 mars 2011. Cette note précise que, pour les crustacés, la chair brune de crabe est exclue, ainsi que la tête et la chair du céphalothorax des macroures (comme les langoustes). Dans ce cas, les analyses ont été réalisées exclusivement sur la chair de la queue décortiquée. Donc les langoustes entières ont été traitées comme les queues non décortiquées.

Les analyses chimiques ont été réalisées par l'Idhesa Bretagne Océane selon la méthode Anses Chlordécone DGAL/SDSSA/N2011-8053 en date du 01 mars 2011, dont les caractéristiques sont indiquées dans le Tabl. 6. La méthode de dosage du chlordécone pratiquée par l'Idhesa Bretagne Océane a été validée selon la Norme NF V 03-110 « procédure de validation intra-laboratoire » et le guide SANCO (10684/2009).

Tabl. 6. Caractéristiques de la méthode d'analyse AFSSA / LERQAP / TOPPOP 4 mise en œuvre par l'Idhesa Bretagne Océane pour la présente campagne.

Libellé	Méthode	Unité	Limite de détection	Limite de quantification	Coefficient de variation globale %	Linéarité	Fidélité en µg/kg en milieu de gamme
Chlordécone	AFSSA / LERQAP / TOPPOP 4	µg/Kg	1,50 µg/kg	5,00 µg/kg	15 %	de 5 à 300 µg/kg	10 µg/kg

Les analyses statistiques ont été réalisées avec les logiciels R (Venables & Smith 2002) et Statistica (StatSoft 2010).

II.2.1.4 Paramètre Pigmentation du tégument

La décision d'analyser la relation entre la pigmentation tégumentaire et la concentration en chlordécone résulte de discussions avec les patrons pêcheurs lors des réunions préalables. Les pêcheurs ont fait valoir que, selon leurs observations, les langoustes blanches *P. argus* avec un tégument de couleur blanche sont plus inféodées aux eaux côtières (baie, barrière de corail) alors que celles présentant une coloration rouge se rencontrent sur les sondes plus creuses. Sur la base de cette appréciation, ils émettent l'hypothèse que, du fait du faible hydrodynamisme et de la proximité de leur habitat avec les zones contaminées, les animaux de la première catégorie pourraient concentrer plus de chlordécone que ceux de la seconde catégorie vivant plus au large.

Pour tester cette hypothèse, le protocole suivant de caractérisation de la couleur du tégument des langoustes blanches a été mis en œuvre. Chaque langouste numérotée est placée sur une feuille blanche hydrophobe à proximité d'une source lumineuse naturelle et artificielle (2 flashs Bowens GM500). Les prises de vue sont réalisées avec un appareil Nikon D5000 équipé d'un objectif 18-55 VR, en mode manuel pour pouvoir modifier le paramétrage (exposition, luminosité, focale) en fonction des conditions de l'environnement. Les clichés obtenus sont archivés en utilisant le même code individuel que pour le reste de l'étude.

La distinction de la coloration s'est avérée difficile à réaliser notamment en raison de l'hétérogénéité de couleurs sur un même individu.

Une première approche visait à déterminer la couleur sur une zone relativement homogène sur tous les individus et renseignant sur la couleur dominante de l'ensemble du corps. Nous avons choisi le centre du telson (Fig. 8). Une fois cette zone bien identifiée, les photographies sont importées sous Photoshop, pour « prélèvement » de la couleur de référence avec l'outil *pipette*. L'identification de la

couleur ainsi sélectionnée est codée dans le système colorimétrique RVB (Rouge, Vert, Bleu) permettant de caractériser chaque échantillon par un code à trois chiffres compris entre 000 et 220. La photographie et son codage colorimétrique sont ensuite insérés dans un document de synthèse regroupant l'ensemble des langoustes prélevées (exemple en Fig. 9).

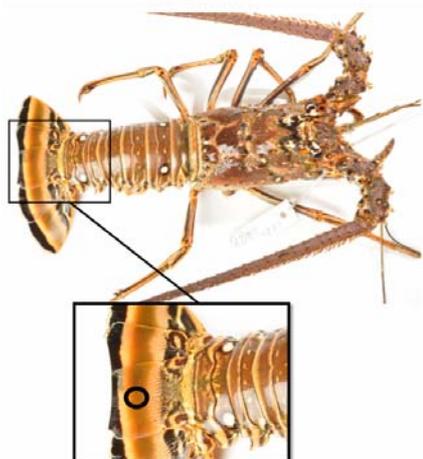


Fig. 8. Localisation de la zone de prélèvement pour le paramètre couleur du tégument.

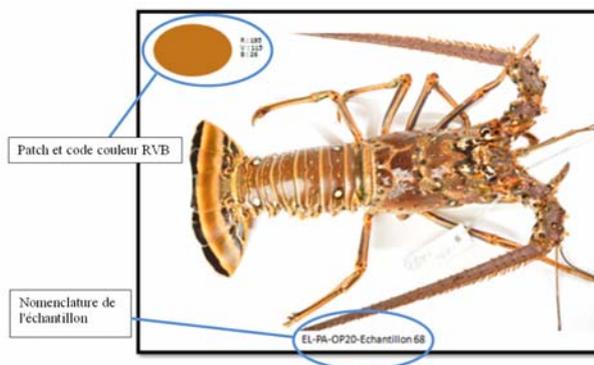


Fig. 9. Exemple de pagination pour le suivi du paramètre couleur dans les échantillons.

A l'expérience, cette approche numérique a dû être abandonnée, l'indice de couleur numérique s'avérant très sensible à l'effet de la part de lumière naturelle lors la prise de vue (selon l'heure du retour de pêche, et donc de prise de vue, les conditions d'ensoleillement ont tendance à surexposer ou sous-exposer les clichés). En outre, les trois paramètres colorimétriques testés semblent évoluer indépendamment les uns des autres.

Nous avons finalement choisi, grâce à la base photographique disponible, d'appliquer un classement qualificatif « à dire d'expert » basé sur la couleur de l'ensemble de l'individu, par analyse simultanée de deux experts. Trois classes de pigmentation (plus une classe pour les indéterminées) ont été définies, selon les critères qualitatifs suivants :

- **Classe A. Langoustes à tégument blanc/ crème.** La couleur dominante du tégument de l'individu varie entre le blanc crème et l'orange clair. Les démarcations entre les plaques de la partie antérieure du céphalothorax sont blanches et bien identifiables.
- **Classe B. Langoustes à tégument marron.** La couleur dominante du tégument de la langouste est marron.
- **Classe C. Langoustes à tégument rouge.** La couleur dominante du tégument de la langouste varie entre le rouge et le bordeaux. Les démarcations entre les plaques du céphalothorax sont rouges ou peu identifiables.
- **Classe I. Langoustes indéterminées.** La couleur dominante du tégument de la langouste n'est pas identifiable ou la photographie ne révèle pas la coloration effective de l'individu.

Sur les 103 individus analysés (cf. Tabl. 3), huit ont été associés à la classe A, 42 à la classe B et 50 à la classe C (plus trois indéterminées).

11.3 Choix de la métrique pour interpréter les résultats d'analyse sous le seuil de quantification

Les analyses statistiques ont été réalisées en priorité en utilisant la métrique de la médiane moins sensible à la distribution des valeurs extrêmes que la moyenne. Cette propriété a été jugée particulièrement pertinente pour la présente étude, en raison de possibles occurrences de quelques valeurs élevées s'éloignant de la distribution générale. Toutefois, certaines analyses ont été effectuées à partir de la moyenne, cette métrique étant souvent utilisée dans les applications réglementaires.

Comme pour de nombreuses analyses chimiques de traces, une partie des résultats d'analyse de chlordécone dans les matrices animales se trouvent sous le seuil de quantification de la méthode utilisée. Or, les échantillons pris en compte ont été analysés par plusieurs laboratoires selon des méthodes qui ne présentent pas toutes les mêmes seuils de détection/quantification (Tabl. 7).

Tabl. 7. Laboratoire, méthode d'analyse et seuil de quantification des échantillons de queue de langouste blanche *P. argus*.

* Variable selon échantillon

Campagne	An	MOA	Labo	Méthode	Seuil de quantification	Nb. échantillons	
						<i>P. argus</i>	<i>P. guttatus</i>
08-M-A	2008	Ifremer	Idhesa	Idhesa	0.45	14	1
08-M-B	2008	DSV	Sarthe	Afssa	5	11	5
09-M-A	2009	Ifremer	Idhesa	Idhesa	0.45	10	-
09-M-B	2009	DSV	Sarthe	Afssa	5, 6 ou 15*	18	8
10-M-A	2010	DSV	Sarthe	Afssa	2 ou 5*	30	28
11-M-A	2011	DAAF/Ifremer	Idhesa	Afssa	5	103	64
						186	106

D'autre part, lorsque l'on considère la moyenne (plutôt que la médiane) dans les traitements de données d'analyses chimiques se pose la question de l'intégration des valeurs sous le seuil de quantification dans les analyses numériques. Classiquement, trois hypothèses sont considérées, plus ou moins conservatives : H1 toutes les valeurs sous le seuil sont posées à zéro, H2 ces valeurs posées à la moitié de la valeur seuil de quantification, et H3 ces valeurs posées à la valeur seuil. L'exploration de ces trois hypothèses présentée en Annexe 3 montre une incidence très faible de l'hypothèse choisie sur les moyennes et leurs intervalles de confiance sur les présents jeux de données. Toutefois, comme la borne supérieure de l'intervalle de confiance (à 95 %) se situe dans certains cas à proximité immédiate de la valeur de référence de 20 µg/kg pf considérée dans la présente étude¹, le choix de l'une ou l'autre des trois hypothèses pourrait avoir une incidence sur les conclusions à tirer quant à la position des échantillons par rapport à cette valeur de référence. Quoiqu'il en soit, dans la suite de l'analyse ne seront présentés que les résultats basés sur l'hypothèse H2 (valeurs sous le seuil de quantification posées à la moitié de la valeur seuil).

[III] Résultats

III.1 Répartition spatiale de la contamination de la langouste blanche *P. argus* et de la langouste brésilienne *P. guttatus* dans la zone centre-atlantique

L'étude sur la répartition de la contamination des deux espèces de langouste dans la zone centre-atlantique a été effectuée à partir des résultats d'analyses réalisées sur le muscle caudal (désigné par "queue" dans la suite du rapport). Cette étude a été menée en incluant l'ensemble des 239 échantillons disponibles pour la zone depuis 2008, répartis en 143 échantillons pour la langouste blanche *Panulirus argus* et 96 échantillons pour la langouste brésilienne *Panulirus guttatus* (Tabl. 8). La répartition de l'ensemble de ces échantillons est présentée sur la Fig. 10. Cette figure présente la réallocation de l'ensemble des échantillons par strate bathymétrique et par secteur adoptée pour la suite de l'étude. Les strates bathymétriques ont été redéfinies de façon à couvrir l'ensemble de l'aire géographique considérée et en ne prenant en compte que la limite des trente mètres au-delà de la barrière. Les limites bathymétriques adoptées sont celles de la carte du Shom « Petites Antilles. Partie centrale, de Montserrat à Saint Lucia » (Shom 2007). La réallocation de l'ensemble des échantillons a été effectuée sur cette trame à partir des coordonnées géographiques de leur prélèvement.

Tabl. 8. Nombre total d'échantillons utilisés pour l'étude de la distribution de la contamination des langoustes dans la zone centre-atlantique de la Martinique.

Nombre d'échantillons	2008 - 2010	2011	Total
Langouste blanche <i>Panulirus argus</i>	40	103	143
Langouste brésilienne <i>Panulirus guttatus</i>	32	64	96
Total	72	167	239

Il faut noter que, pour la langouste blanche, tous les échantillons sont constitués à partir d'un seul individu. Pour la langouste brésilienne, une grande partie des échantillons sont constitués à

¹ Cette valeur correspond à la limite maximale applicable aux résidus de chlordécone pour les produits de la mer (Anon. 2008).

partir de plusieurs individus. Dans ce cas, il s'agit d'individus de même taille (au centimètre près) et prélevés à la même position.

On rappelle également que, à travers les différentes campagnes d'échantillonnage, la valeur seuil de détection/quantification a varié entre 0,15 et 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf selon les laboratoires en charge des analyses et les méthodes mise en œuvre.

Compte tenu des caractères biologiques très différents des deux espèces, elles ont été étudiées séparément.

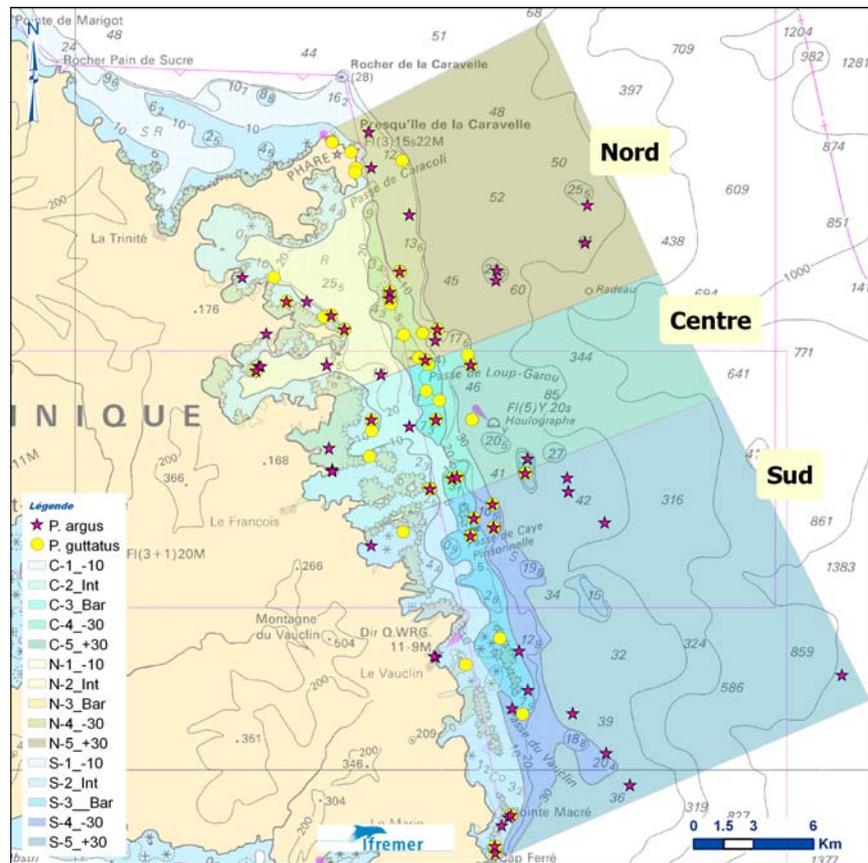


Fig. 10. Localisation des échantillons de *P. argus* et *P. guttatus* dans la zone centre-atlantique (données 2008-2011, sur fond de carte Shom).

III.1.1 Langouste blanche *P. argus*

Pour la langouste blanche, dans les échantillons de queue les résultats sont très variables, de valeurs inférieures au seuil de détection jusqu'à 1414 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf. La carte de la Fig. 11 qui inclut l'ensemble des échantillons analysés montre une tendance décroissante de la contamination du nord vers le sud de la zone d'étude dans la bande littorale. La synthèse de ces résultats par secteur et par niveau bathymétrique (Fig. 12) montre que les secteurs nord et centre présentent une tendance générale proche, avec des valeurs médianes relativement élevées pouvant dépasser 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf dans les zones très côtières jusqu'à la barrière (niveaux 1, 2 et 3 de la Fig. 12), puis une nette diminution avec des valeurs médianes autour de 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf au-delà de la barrière (sondes supérieures à 30 mètres). A noter dans tous les cas la possibilité d'occurrences d'individus isolés à des valeurs plus élevées (représentés par des points individuels sur la Fig. 12), même aux plus grandes profondeurs (cf. une valeur à 171 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf sur la sonde des 100 mètres et une à 271 sur la sonde des 30 mètres en zone nord).

Le secteur sud apparaît nettement moins contaminé puisque la très grande majorité des valeurs se situent en dessous de 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf (médiane autour de 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf). Dans ce secteur, les valeurs les plus élevées (mais quasiment toujours inférieures à 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf) ont été rencontrées dans les zones situées plus au large (sondes de 50 et 100 mètres).

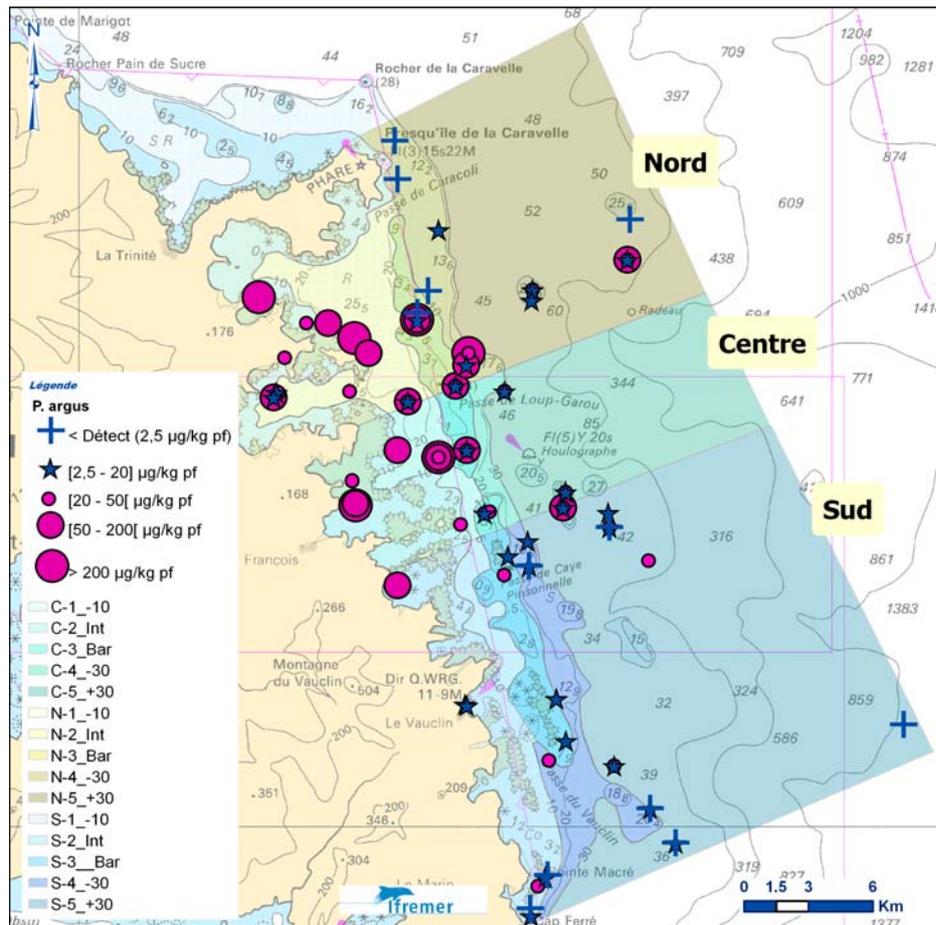
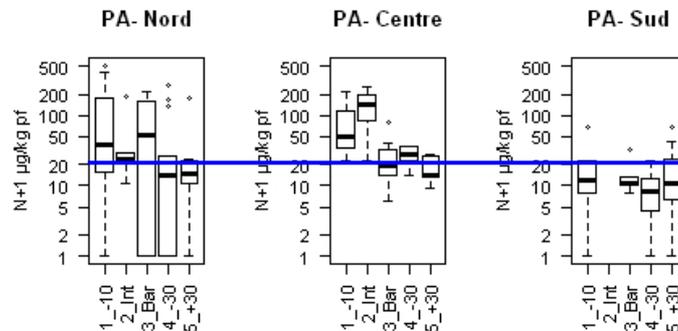


Fig. 11. Répartition de la contamination de la langouste blanche sur l'ensemble de la zone d'étude.



Echelle Log, données transformées en 'n + 1'. Résultat sous le seuil de détection posés à zéro (1 sur la figure).

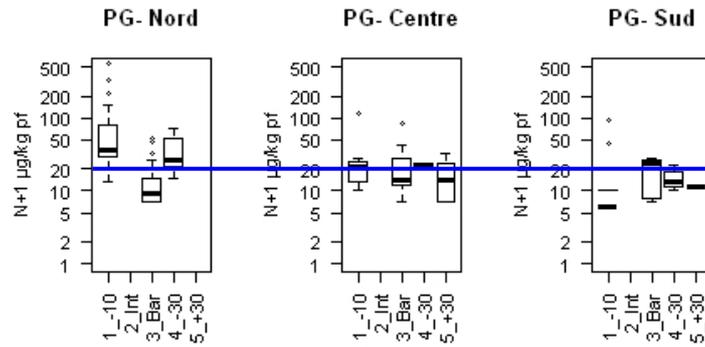
Médiane, 1 er et dernier quartiles, dispersion : 1,5 fois l'espace interquartile, plus outliers

Zone 1 : Nord ; Zone 2 : Centre ; Zone 3 : Sud

Fig. 12. Distribution par secteur et niveau bathymétrique de la concentration en chlordécone dans les échantillons de queue de langouste blanche *P. argus*.

III.1.2 La langouste brésilienne *P. guttatus*

En tendances générales, la langouste brésilienne présente des signes de contamination un peu inférieurs à ceux de la langouste blanche. Sauf en zone très côtière, les valeurs relevées dépassent rarement 100 µg/kg pf, le maximum relevé étant de 561 µg/kg pf (Fig. 13 et Fig. 14). Comme pour la langouste blanche, on note une tendance à la décroissance du nord vers le sud de la zone d'étude, ainsi que des fonds côtiers vers les niveaux plus profonds, mais avec de fortes variabilités. Sauf dans le secteur nord où des valeurs supérieures ont été relevées dans les fonds les plus littoraux (sondes inférieures à 10 mètres), la médiane de la distribution des valeurs se situe aux environs de 20 µg/kg pf, voir nettement en dessous dans le secteur sud.



Echelle Log, données transformées en 'n + 1'. Résultat sous le seuil de détection posés à zéro (1 sur la figure).
Médiane, 1^{er} et dernier quartiles, dispersion : 1,5 fois l'espace interquartile, plus outliers
Zone 1 : Nord ; Zone 2 : Centre ; Zone 3 : Sud

Fig. 13. Distribution par secteur et niveau bathymétrique de la concentration en chlordécone dans les échantillons de queue de langouste brésilienne *P. guttatus*.

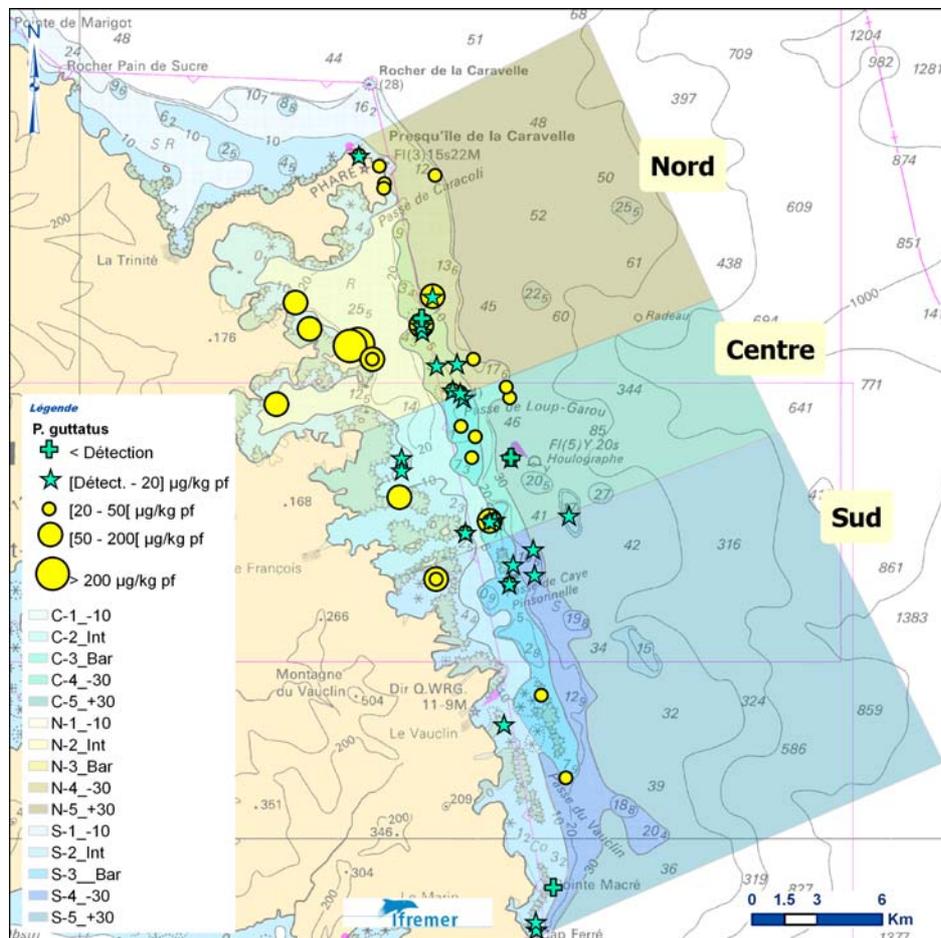


Fig. 14. Répartition de la contamination de la langouste brésilienne sur l'ensemble de la zone d'étude.

III.2 Relation entre la taille des individus et la concentration en chlordécone

L'évolution de la contamination avec la taille des individus pouvant constituer un indice de bioaccumulation, elle a été étudiée à partir des échantillons disponibles sur les deux espèces de langoustes de la zone centre-atlantique (concentrations dans les queues). Cette analyse a été conduite à deux niveaux, d'une part sur l'ensemble des échantillons disponibles, d'autre part sur les seuls échantillons des zones de plus forte prévalence détectée de contamination, c'est-à-dire les zones les plus côtières jusqu'à la barrière (zones codées 10, Int et Bar).

III.2.1 Langouste blanche *P. argus*

Globalement, la distribution de la concentration en chlordécone en relation avec la taille pour la langouste blanche est caractérisée par les traits suivants (Fig. 15). La majorité des individus échantillonnés ont une longueur totale comprise entre 18 et 28 centimètres. La majorité des individus de taille supérieure ou égale à 25 centimètres ont présenté une concentration inférieure à 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf. La concentration la plus élevée relevée chez ces individus est de 66 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf. Les concentrations les plus élevées (supérieures à 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf) sont en général rencontrées chez les plus petits individus (jusqu'aux environs 23,5 cm)

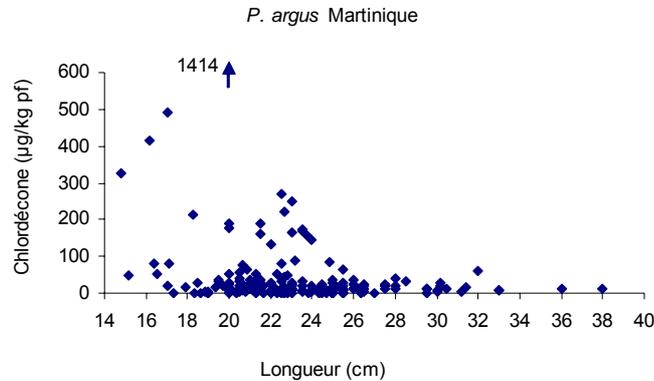
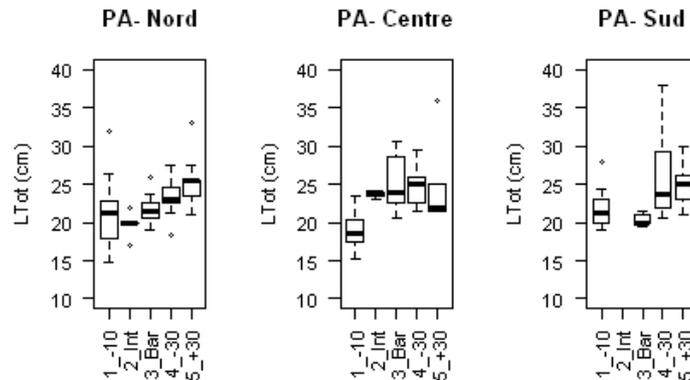


Fig. 15. Distribution de la concentration en chlordécone dans le muscle caudal de langouste blanche en relation avec la taille des individus. Sur le graphe, les résultats « inférieur au seuil de détection » sont mis à zéro.

La distribution des individus échantillonnés par zone et niveau bathymétrique (Fig. 16) présente une nette augmentation de la taille avec la bathymétrie, avec une médiane à 20 cm environ sur les fonds les plus littoraux (sondes inférieures à 10 m) jusqu'aux environs de 25 cm dans les zones plus éloignées.

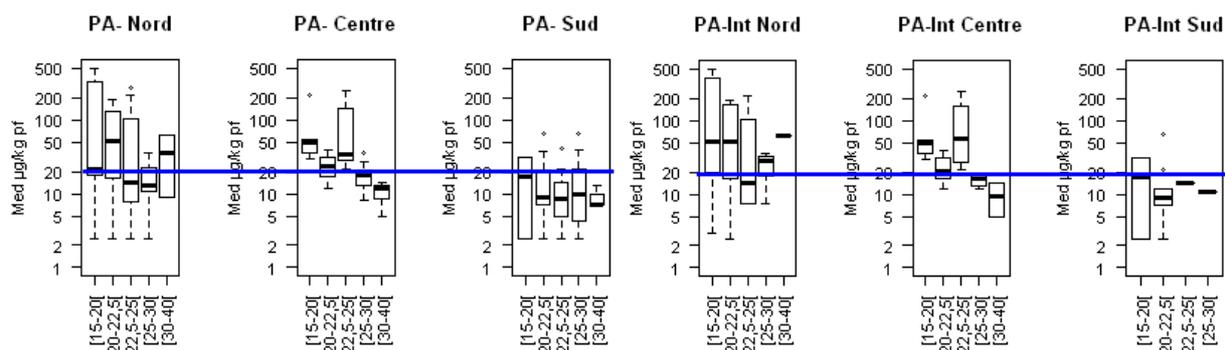


Médiane, 1^{er} et dernier quartiles, dispersion : 1,5 fois l'espace interquartile, plus outliers

Fig. 16. Distribution des longueurs des langoustes blanches *P. argus* échantillonnées dans la zone centre-atlantique, par secteur et par niveau bathymétrique.

Pour tenir compte de cette distribution des tailles selon les zones, les individus ont été regroupés selon les classes de taille suivantes pour la suite de l'analyse : inférieur à 20 cm, de 20 à 22,5 cm, de 22,5 à 25 cm, de 25 à 30 cm et supérieur ou égal à 30 cm. La répartition des concentrations selon la taille et par secteur géographique met en évidence les traits suivants. Les concentrations relevées dans le secteur sud sont trop faibles pour permettre d'identifier une tendance. Les résultats des secteurs nord et centre suggèrent une décroissance de la concentration en chlordécone avec la taille. Lorsque l'on inclut tous les échantillons (Fig. 17, gauche), les résultats combinent un possible effet de taille et de localisation, les individus les plus grands étant plus régulièrement rencontrés dans les zones situées le plus au large. Le résultat en zone littorale dans le secteur centre (Fig. 2, droite), le seul où les données sont suffisantes pour aborder cette analyse, semble confirmer un signal de relation de la contamination avec la taille. Mais ce signal est très bruité en raison de la grande dispersion des valeurs individuelles. Il convient de noter que, chez la grande majorité des individus observés de taille au moins égale à 25 cm, la concentration dans les queues était inférieure à 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf (médiane de la distribution < 20 cm). Si la majorité de ces individus ont été pris au-delà

de la barrière corallienne, les concentrations relevées pour ces grands individus capturés en zone littorale présentent la même tendance.



Echelle Log, données sous le seuil de détection posés à la moitié du seuil.

Médiane, 1^{er} et dernier quartiles, dispersion : 1,5 fois l'espace interquartile, plus outliers

Fig. 17. Concentration en chlordécone des queues de langouste blanche *P. argus* en relation avec la taille des individus dans les trois secteurs étudiés. A gauche tous les échantillons, à droite les seuls échantillons des zones littorales (jusqu'à la barrière corallienne incluse). En abscisse des figures, les individus sont groupés en classes de longueur totale (en cm).

III.2.2 Langouste brésilienne *P. guttatus*

La distribution globale des concentrations en chlordécone selon la taille des individus de langouste brésilienne échantillonnés apparaît plus homogène que chez la langouste blanche (Fig. 18). Pour toutes les tailles échantillonnées, les concentrations maximales relevées dépassent rarement 50 µg/kg pf. Les valeurs les plus élevées relevées (jusqu'à 561 µg/kg pf) se situent dans la plage des tailles les plus petites étudiées. A noter que ces valeurs concernent en général des échantillons constitués à partir de deux individus. Compte tenu de la distribution générale des résultats, il est possible que l'un des deux individus de chacun de ces échantillons ait pu contenir une concentration plus élevée.

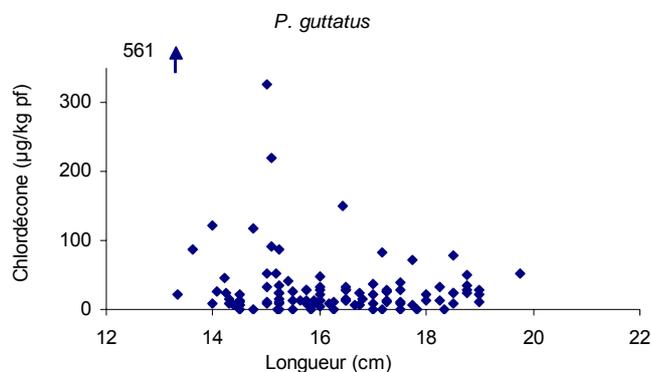
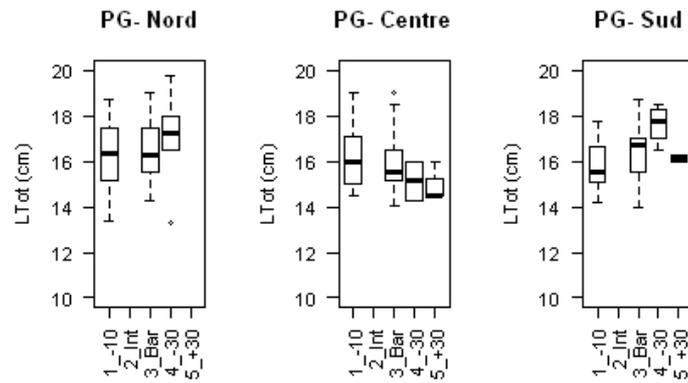


Fig. 18. Distribution de la concentration en chlordécone dans le muscle caudal de langouste brésilienne en relation avec la taille des individus. Sur le graphe, les résultats « inférieur au seuil de détection » sont mis à zéro. Longueur : taille moyenne en cas de deux individus.

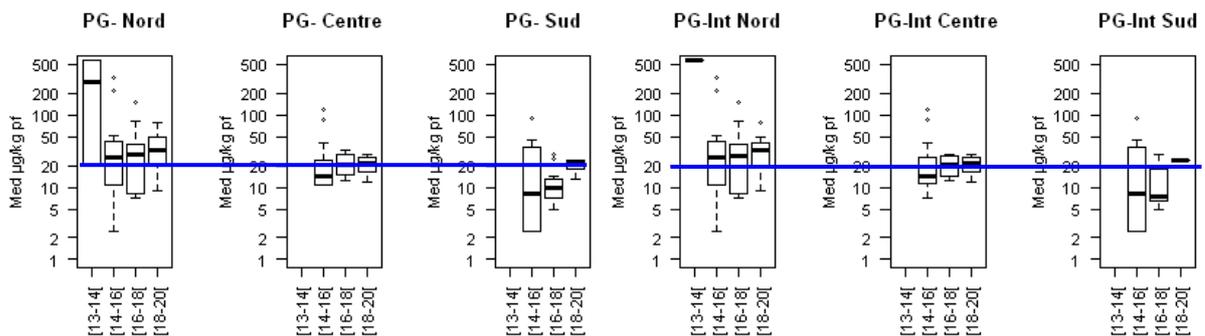
Aucune tendance de répartition spatiale des individus de langouste brésilienne selon leur taille n'est détectée à l'échelle des zones considérées (Fig. 19).

Confirmant le signal de relative homogénéité des concentrations de chlordécone dans le muscle caudal des langoustes brésilienne évoqué ci-dessus, les valeurs relevées par secteur et par classe de taille apparaissent assez groupées, avec une médiane très légèrement supérieure à 20 µg/kg pf pour toutes les classes de taille dans les secteurs nord et centre, à l'exception notable des quelques plus petits individus prélevés en zone littorale du secteur nord (Fig. 19). Dans le secteur sud, à partir de valeur plus faible pour les plus petits individus observés, un indice de légère augmentation de cette concentration avec la taille pourrait se dessiner.



Médiane, 1^{er} et dernier quartiles, dispersion : 1,5 fois l'espace interquartile, plus outliers

Fig. 19. Distribution des longueurs des langoustes brésilienne *P. guttatus* échantillonnées, par secteur et par niveau bathymétrique.



Echelle Log, données sous le seuil de détection posés à la moitié du seuil.

Médiane, 1^{er} et dernier quartiles, dispersion : 1,5 fois l'espace interquartile, plus outliers

Fig. 20. Concentration en chlordécone des queues de langouste brésilienne *P. guttatus* en relation avec la taille des individus dans les trois secteurs étudiés. A gauche tous les échantillons, à droite les seuls échantillons des zones littorales (jusqu'à la barrière corallienne incluse). En abscisse des figures, les individus sont groupés en classes de longueur totale (en cm).

III.3 Approche zonale de la distribution de la contamination des langoustes par seuils de taille autour de la Martinique

Considérant les relations entre la contamination et la taille des individus identifiées dans la partie précédente, et en réponse à une demande formulée par la DAAF, le chargé de mission interministérielle chlordécone et la direction de la mer de Martinique (cf. compte rendu de la réunion de travail du 14 février 2012), cette partie du rapport présente une exploration de la distribution des moyennes de contamination en regroupant l'ensemble des échantillons disponibles de chaque espèce de langouste pour toute la Martinique (données DSV et Ifremer 2008-2011) en deux classes de taille définies de part et d'autre d'un seuil de taille mobile.

Pour chaque espèce, l'exploration a été conduite en combinant deux types d'information : la longueur des individus échantillonnés et la distribution géographique des prélèvements. Les résultats ont été calculés en posant les valeurs de contamination sous le seuil de quantification à la moitié de la valeur seuil de quantification (hypothèse H2 de l'Annexe 3). Pour les tailles, la référence est la longueur totale des individus (en cm). Les tests ont été réalisés en faisant varier le seuil de taille de 22 à 30 cm pour la langouste blanche, et de 15 à 18 cm pour la langouste brésilienne, selon un pas d'un cm.

L'établissement de limites géographiques relatives à la contamination de la faune marine vagile par la chlordécone s'avère très difficile en raison du caractère très diffusif de cette contamination. Pour permettre d'approfondir la description des tendances observées à travers des estimateurs statistiques et sans préjuger des perspectives de son application opérationnelle pour la gestion des pêches, nous avons établi une stratification du littoral martiniquais distinguant l'ensemble des zones présentant les indices de contamination les plus forts de tous les autres secteurs. Le premier groupe inclut toutes les zones déjà interdites à la pêche autour de l'île en raison d'une contamination de la faune halieutique (arrêté préfectoral de 2010, Anon. 2010), ainsi qu'une zone plus étendue du plateau corallien centre-atlantique dénommée « zone rouge » pour la présente étude.

La « zone rouge » (Fig. 21) a été définie en prenant en considération deux types d'informations : (i) les tendances dans la distribution des valeurs de contamination des langoustes *P. argus* et *P. guttatus* (cf. partie précédente) et (ii) les connaissances disponibles sur la pollution des bassins versants adjacents. Si les données disponibles sur la langouste blanche et sur la langouste brésilienne mettent bien en évidence leur contamination dans la zone rouge, la faible densité de valeurs à l'extérieur de cette zone, dans le sud et vers le large, mériterait toutefois une attention particulière. En effet, une densité plus forte d'échantillonnage au delà de la zone rouge pourrait modifier la représentation actuelle de la contamination de ces espèces dans ces secteurs. Sur les bassins versants de la façade centre-atlantique, la répartition du risque de pollution des sols (Desprat *et al.* 2004) met en évidence une diminution très sensible de la pollution potentielle des cours d'eau débouchant au sud de la pointe Cerisier par rapport à la situation au nord de cette pointe (Fig. 21), motivant également le positionnement de la limite sud de la zone rouge à cette pointe. Il convient de noter que cette zone rouge se trouve ainsi moins étendue vers le sud que la zone complémentaire de l'arrêté préfectoral de 2010 (Anon. 2010). Vers l'est, la zone rouge a été limitée par la sonde externe des 30 m (carte Shom Antilles et Bermudes, Shom 2007), soit approximativement sur la même sonde que la zone complémentaire de l'arrêté préfectoral de 2010 (Anon. 2010), en prenant également en compte l'organisation des biocénoses de la zone côtière concernée (Legrand 2009).

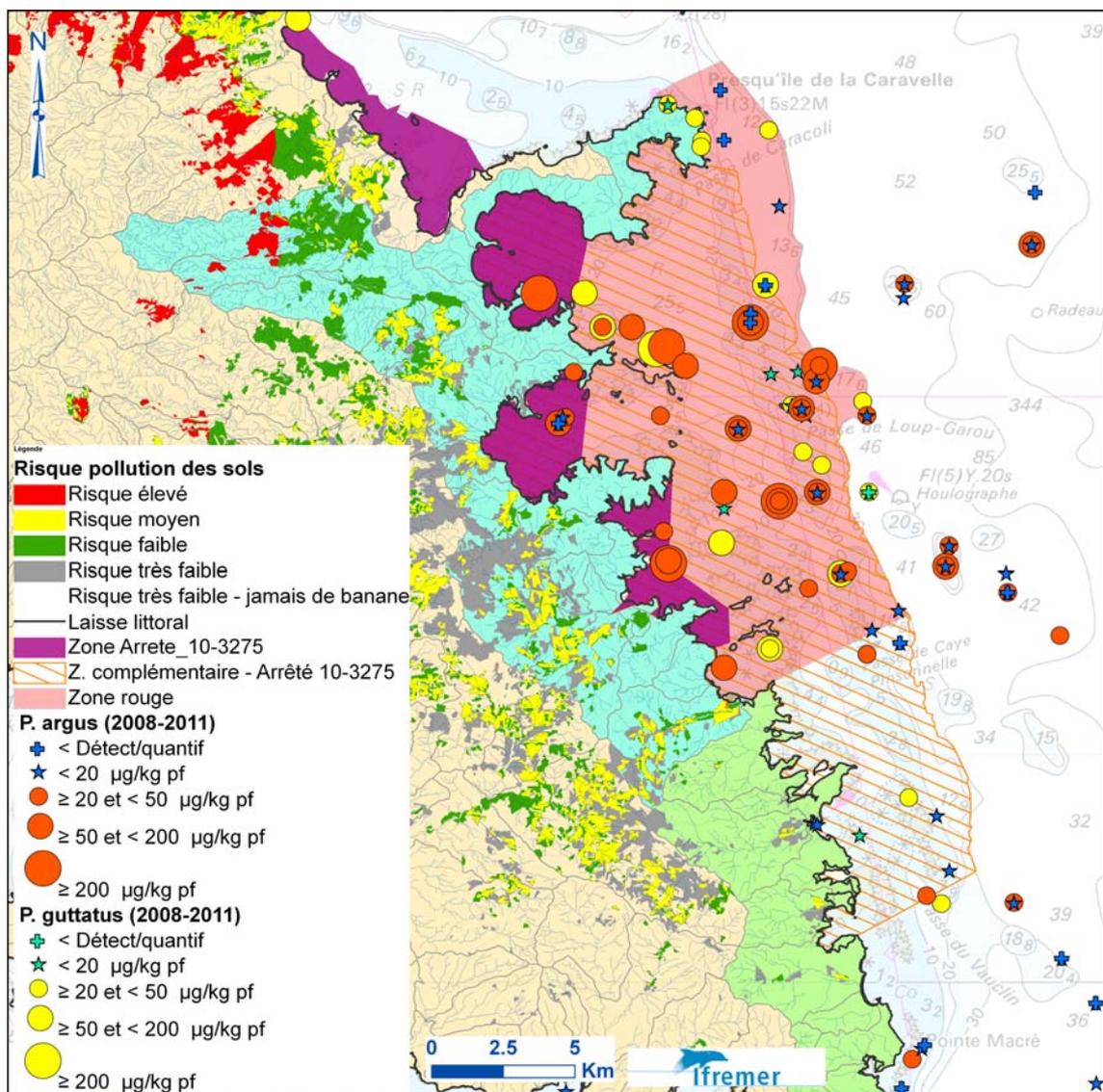


Fig. 21. Risques de pollution des sols sur les bassins versants de la zone centre-atlantique et zone rouge de la présente étude. D'après (Desprat *et al.* 2004), Deal Martinique (base de données Carthage pour les cours d'eau), Ifremer et DAAF pour les données chlrodécone sur les langoustes (2008-2011), sur fond de carte Shom.

Représentation des bassins versants. Sur la carte, tous les bassins versants des cours d'eau débouchant face à la zone rouge sont représentés en bleu turquoise, ceux se déversant sur la façade atlantique au sud de la pointe Cerisier en vert clair, tous les autres en couleur sable.

L'ensemble des zones définies autour de l'île sont présentées sur la Fig. 22, superposées à la distribution des concentrations rencontrées dans les langoustes à partir des différentes études (Fig. 22, à gauche pour la langouste blanche et à droite pour la langouste brésilienne).

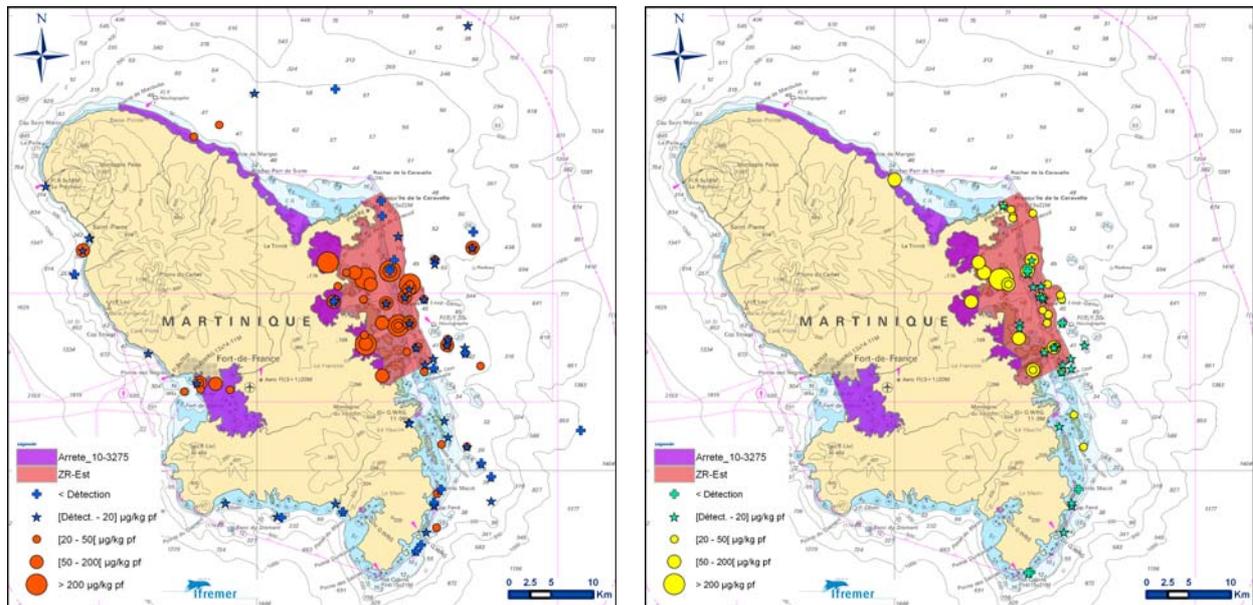


Fig. 22. Localisation des zones d'interdiction totale de pêche de l'arrêté préfectoral de 2010 (Anon. 2010) et de la « zone rouge » considérée pour la présente étude, et répartition des échantillons de *P. argus* (gauche) et *P. guttatus* (droite). Fond de carte Shom (Shom 2007).

III.3.1 Langouste blanche *P. argus*

L'analyse inclut 186 échantillons géoréférencés par leur lieu de capture, de 2008 à 2011 tout autour de la Martinique (Fig. 22 gauche). Pour tous les échantillons, la matrice utilisée pour les analyses chimiques est constituée par les queues des langoustes (muscle blanc).

III.3.1.1 Résultats

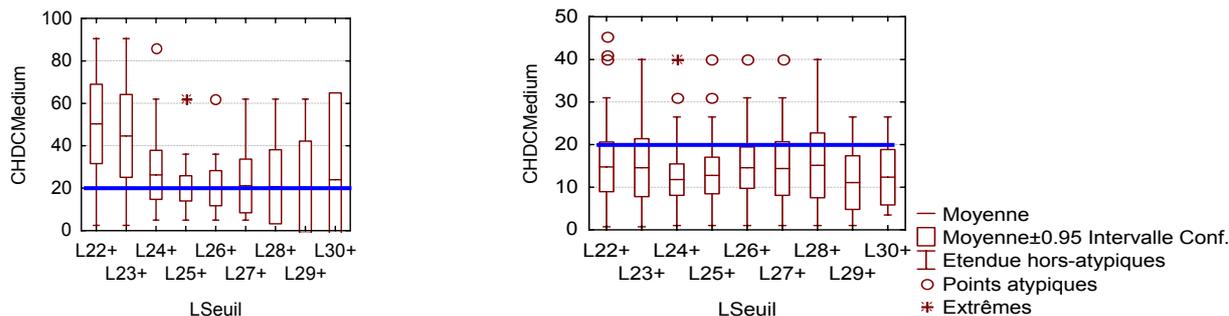
III.3.1.1.1 Résultats par zone et par seuil de taille

D'une façon générale, les résultats présentés dans le Tabl. 9 et dans la Fig. 23 mettent en évidence le très fort contraste entre les deux ensembles géographiques considérés, avec une borne supérieure de l'intervalle de confiance très stable, aux environs de 20 µg/kg pf pour toutes les simulations sur les échantillons prélevés hors des zones rouges de la carte de la Fig. 22, illustrant un faible niveau de concentration en chlordécone de la langouste blanche *P. argus* sur l'ensemble de ces zones. La situation apparaît beaucoup plus contrastée pour les échantillons prélevés dans les zones rouges de la Fig. 22.

Un test U de Mann-Withney pour comparer les concentrations en chlordécone de part et d'autre de la valeur seuil de longueur individuelle ne montre une différence significative que pour les échantillons situés à l'intérieur des zones rouges (Fig. 23 a), et pour les valeurs seuils de 24 à 26 cm (p compris entre 0,01 et 0,04). Pour les valeurs seuil les plus élevées (au dessus de 26 cm), la non significativité est liée aux petits effectifs d'individus de grande taille (effectif en général inférieur à 10). Pour ces secteurs, la concentration moyenne en chlordécone tend à baisser régulièrement avec la taille jusqu'à 25 cm, pour se stabiliser ensuite.

Repère méthodologique sur les boîtes à moustaches

Les diagrammes en boîtes à moustaches permettent de figurer le profil essentiel d'une série statistique quantitative. Dans ce type de diagramme, les points atypiques et les points extrêmes sont des valeurs éloignées du centre de la distribution. Ils sont définis en référence à l'étendue de la boîte à moustaches. Pour la présente étude, nous avons retenu la référence suivante pour les estimations basées sur la moyenne. Points atypiques : points situés à plus de 1,5 fois l'étendue de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne, hors points extrêmes ; points extrêmes : tous les points situés à plus de trois fois l'étendue de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne. La représentation de ces points sur les graphiques n'a aucune influence sur le calcul des estimateurs statistiques (moyenne, intervalle de confiance). Elle illustre seulement la distribution de ces points « aberrants » dans les échantillons. Elle complète ainsi l'information sur les valeurs rencontrées au-delà de la borne de l'intervalle de confiance. Pour en faciliter la lecture, seules les nombres supérieurs ou égaux à zéro sont représentées sur les graphes.



CHDCMedium : chlordécone (µg/kg pf)

a/ Dans les zones interdites et « zone rouge » b/ Hors zones interdites et « zone rouge »

Fig. 23. Dispersion des concentrations en chlordécone relevées dans les queues de langouste blanche *P. argus* par seuil de taille autour de la Martinique dans les zones interdites par l'arrêté de 2010 et dans la « zone rouge » (a) et hors de ces zones (b) (moyennes calculées sous l'hypothèse des valeurs sous le seuil de quantification posées à la demi-valeur du seuil).

Tabl. 9. Moyennes des concentrations en chlordécone dans les queues de langouste blanche *P. argus* par seuil de taille, entre les 'zones rouges' sud-atlantique et baie de Fort-de-France d'une part, et l'ensemble des autres zones d'autre part, sous l'hypothèse H2 (demi-valeur du seuil).

Légende du tableau. ZR-EW : ensemble des zones rouge et violette de la Fig. 22. L22- : Tous les individus de moins de 22 cm ; L22+ : tous les individus d'au moins 22 cm ; même principe pour toutes les classes de longueur. En jaune, les valeurs de la borne supérieure de l'intervalle de confiance inférieures à 20 µg/kg pf ; en rose, les valeurs comprises entre 20 et 25 µg/kg pf. Moy. ± IC95% : moyenne ± intervalle de confiance à 95 %.

L Seuil	Zones	Classe L/seuil	Moyenne (µg/kg pf)	N	Mini-mum	Maxi-mum	Ecart-type	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%
L22	Hors ZR-EW	L22-	14.7	30	0.7	78.9	16.0	8.7	20.6
L22	Hors ZR-EW	L22+	14.8	64	0.7	171.0	23.2	9.0	20.6
L22	ZR-EW	L22-	110.0	41	2.5	1414.0	236.6	35.3	184.6
L22	ZR-EW	L22+	50.3	51	2.5	271.0	66.5	31.6	69.0
L23	Hors ZR-EW	L23-	15.0	41	0.7	78.9	15.6	10.0	19.9
L23	Hors ZR-EW	L23+	14.6	53	0.7	171.0	24.7	7.8	21.4
L23	ZR-EW	L23-	98.6	55	2.5	1414.0	208.8	42.1	155.0
L23	ZR-EW	L23+	44.6	37	2.5	251.0	58.6	25.1	64.2
L24	Hors ZR-EW	L24-	17.4	50	0.7	171.0	26.5	9.8	24.9
L24	Hors ZR-EW	L24+	11.8	44	1.0	66.0	12.1	8.1	15.5
L24	ZR-EW	L24-	97.9	65	2.5	1414.0	194.5	49.7	146.1
L24	ZR-EW	L24+	26.3	27	5.0	143.0	29.1	14.8	37.8
L25	Hors ZR-EW	L25-	16.0	57	0.7	171.0	25.1	9.4	22.7
L25	Hors ZR-EW	L25+	12.8	37	1.0	66.0	12.9	8.5	17.1
L25	ZR-EW	L25-	93.7	71	2.5	1414.0	187.1	49.5	138.0
L25	ZR-EW	L25+	19.9	21	5.0	62.0	13.0	14.0	25.9
L26	Hors ZR-EW	L26-	14.8	74	0.7	171.0	23.2	9.4	20.2
L26	Hors ZR-EW	L26+	14.6	20	1.0	40.0	10.4	9.8	19.5
L26	ZR-EW	L26-	87.1	78	2.5	1414.0	179.7	46.6	127.6
L26	ZR-EW	L26+	20.0	14	5.0	62.0	14.4	11.7	28.3
L27	Hors ZR-EW	L27-	14.8	79	0.7	171.0	22.5	9.8	19.9
L27	Hors ZR-EW	L27+	14.4	15	1.0	40.0	11.4	8.1	20.7
L27	ZR-EW	L27-	82.9	83	2.5	1414.0	174.9	44.8	121.1
L27	ZR-EW	L27+	21.1	9	5.0	62.0	16.5	8.5	33.8
L28	Hors ZR-EW	L28-	14.7	82	0.7	171.0	22.2	9.8	19.6
L28	Hors ZR-EW	L28+	15.2	12	1.0	40.0	11.9	7.6	22.8
L28	ZR-EW	L28-	81.5	85	2.5	1414.0	173.1	44.2	118.8
L28	ZR-EW	L28+	20.7	7	5.0	62.0	18.9	3.3	38.2
L29	Hors ZR-EW	L29-	15.1	85	0.7	171.0	22.0	10.4	19.9
L29	Hors ZR-EW	L29+	11.1	9	1.0	26.5	8.2	4.8	17.4
L29	ZR-EW	L29-	80.8	86	2.5	1414.0	172.2	43.9	117.7
L29	ZR-EW	L29+	20.5	6	5.0	62.0	20.7	-1.2	42.2
L30	Hors ZR-EW	L30-	15.0	86	0.7	171.0	22.0	10.3	19.7
L30	Hors ZR-EW	L30+	12.4	8	3.5	26.5	7.8	5.9	18.9
L30	ZR-EW	L30-	79.3	88	2.5	1414.0	170.5	43.2	115.4
L30	ZR-EW	L30+	24.0	4	5.0	62.0	25.7	-16.9	64.9

III.3.1.1.2 Estimateurs de moyenne et intervalle de confiance pour toutes les données regroupées, sans distinction de zone

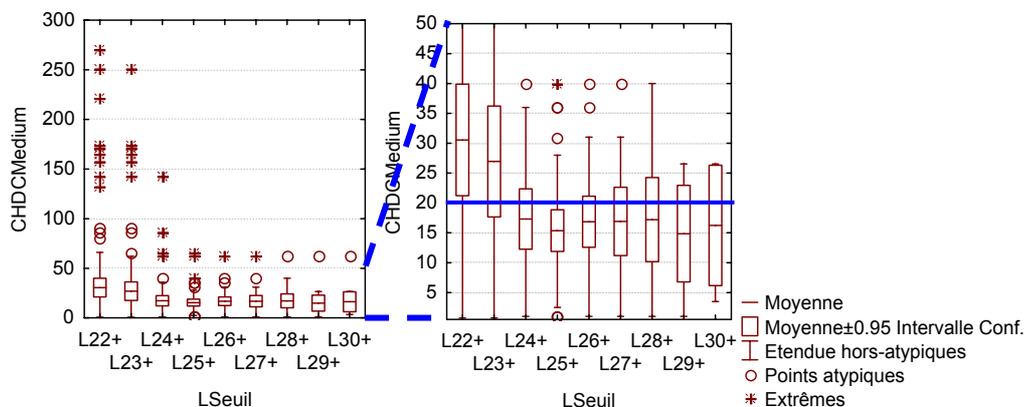
Lorsque l'on considère sans distinction de zones et sans pondération l'ensemble des 186 échantillons de queues de langouste blanche *P. argus* disponibles autour de la Martinique, la borne supérieure de l'intervalle de confiance de la moyenne passe sous le seuil de 20 µg/kg pf pour un seuil

de taille des individus de 25 cm (classe L25+ du Tabl. 10 et de la Fig. 24). La Fig. 24 illustre le fait que, si des valeurs supérieures à 20 µg/kg pf peuvent encore être rencontrées dans ces plus grands individus, les risques de rencontrer des valeurs élevées est faible, les valeurs maximales de concentration relevées dans ce groupe à partir de la valeur seuil de 25 cm étant toujours inférieure à 65 µg/kg pf. Il convient également de noter que l'intervalle de confiance augmente lorsque le seuil de taille est déplacé vers les plus grandes tailles (taille seuil supérieure à 25 cm) en raison du faible effectif des échantillons pour ces classes.

Tabl. 10. Moyennes des concentrations en chlordécone dans les queues de langouste blanche *P. argus* par seuil de taille, sans distinction de zone, sous l'hypothèse H2 (demi-valeur du seuil).

Légende du tableau. L22- : Tous les individus de moins de 22 cm ; L22+ : tous les individus d'au moins 22 cm ; même principe pour toutes les classes de longueur. En jaune, les valeurs de la borne supérieure de l'intervalle de confiance inférieures à 20 µg/kg pf ; en rose, les valeurs comprises entre 20 et 25 µg/kg pf. N=186

Classe L/seuil	Moyenne	N	Mini-mum	Maxi-mum	Ecart-type	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%
L22-	69.7	71	0.7	1414.0	185.3	25.8	113.6
L22+	30.5	115	0.7	271.0	50.5	21.2	39.9
L23-	62.9	96	0.7	1414.0	163.1	29.8	95.9
L23+	27.0	90	0.7	251.0	44.3	17.7	36.2
L24-	62.9	115	0.7	1414.0	152.2	34.8	91.0
L24+	17.3	71	1.0	143.0	21.3	12.3	22.4
L25-	59.1	128	0.7	1414.0	145.2	33.7	84.5
L25+	15.4	58	1.0	66.0	13.3	11.9	18.9
L26-	51.9	152	0.7	1414.0	134.3	30.4	73.4
L26+	16.8	34	1.0	62.0	12.3	12.6	21.1
L27-	49.7	162	0.7	1414.0	130.4	29.5	69.9
L27+	16.9	24	1.0	62.0	13.6	11.2	22.6
L28-	48.7	167	0.7	1414.0	128.5	29.1	68.3
L28+	17.2	19	1.0	62.0	14.6	10.2	24.2
L29-	48.2	171	0.7	1414.0	127.1	29.0	67.4
L29+	14.9	15	1.0	62.0	14.6	6.8	23.0
L30-	47.5	174	0.7	1414.0	126.1	28.6	66.4
L30+	16.2	12	3.5	62.0	15.9	6.2	26.3



CHDCMedium : chlordécone (µg/kg pf)

Fig. 24. Dispersion des concentrations en chlordécone relevées dans les queues de langouste blanche *P. argus* par seuil de taille autour de la Martinique, sans distinction de zone (moyennes calculées sous l'hypothèse des valeurs sous le seuil de quantification posées à la demi-valeur du seuil).

III.3.1.2 Conclusion de l'analyse

L'analyse met en évidence que, entre les deux facteurs analysés, la distribution géographique et la taille, le facteur géographique est largement déterminant dans la contamination de la langouste blanche *P. argus* autour de la Martinique. L'analyse montre en effet que, hors des zones les plus contaminées représentées par les baies de Fort-de-France et la zone côtière centre-sud-atlantique jusqu'à la sonde des trente mètres, les niveaux moyens de contamination restent très faibles (moyenne toujours inférieure à 20 µg/kg pf) quelque soit le groupe de taille considéré. Dans ces secteurs, sans exclure la possibilité d'y rencontrer des valeurs plus élevées, les intervalles de confiance réduits illustrent la faible dispersion des valeurs de concentration en chlordécone entre les différents échantillons, et l'absence de valeurs fortes.

Dans l'ensemble constitué par les autres secteurs (zones déjà interdites et extension jusqu'à la sonde des trente mètres dans le secteur centre-sud atlantique), la situation apparaît plus complexe. Elle est marquée par des moyennes et des intervalles de confiance nettement plus élevés, avec une

nette relation avec la taille des individus, en partie masquée par la grande dispersion des valeurs relevées. Ainsi, outre la distinction forte entre les plus grands individus d'une part, les plus petits individus plus fortement contaminés d'autre part, le signal de diminution de la contamination autour d'une taille seuil y apparaît très bruité par la grande variabilité des concentrations relevées, surtout chez les plus petits individus. Pour les plus grands individus (au-delà de 27 cm), les effectifs apparaissent trop faibles pour décrire une tendance dans ces secteurs.

En outre, si l'on considère l'ensemble des échantillons, sans distinction de zone, la longueur totale de 25 cm apparaît comme une taille seuil distinguant un groupe des plus grands individus plus faiblement contaminés.

Considérant la répartition des bassins versants contaminés, les indices de contamination relevés sur les poissons et le faible taux d'échantillonnage de la langouste blanche *P. argus* sur certains secteurs, en particulier le long de la façade nord-atlantique, l'image actuelle d'une faible contamination généralisée à l'ensemble des secteurs situés hors des zones interdites (arrêté de 2010, Anon. 2010) et de la présente zone rouge pourrait s'avérer incomplète. Ainsi d'autres secteurs encore faiblement explorés pourraient justifier d'une attention particulière. Cela pourrait en particulier être le cas pour le secteur des hauts fonds situés à l'extérieur des zones déjà interdites, juste au nord de la presqu'île de la Caravelle, et à l'ouvert de la baie de Fort-de-France.

III.3.2 Langouste brésilienne *P. guttatus*

Pour la langouste brésilienne, l'analyse inclut 106 échantillons géoréférencés par leur lieu de capture, de 2008 à 2011 tout autour de la Martinique (Fig. 22). Pour tous les échantillons, la matrice utilisée pour les analyses chimiques est constituée par les queues des langoustes (muscle blanc). Pour cette espèce, un échantillon est souvent constitué à partir de plusieurs individus.

III.3.2.1 Résultats

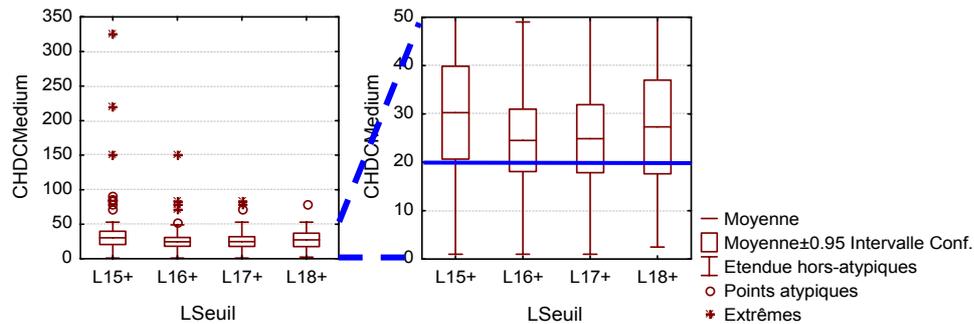
La très grande majorité des échantillons disponibles sur la langouste brésilienne *P. guttatus* proviennent du secteur centre-sud-atlantique (Fig. 22). Les extrapolations à l'ensemble de l'île sont donc à considérer avec précaution.

Les résultats du Tabl. 11 illustrés sur la Fig. 25 montrent que seuls les échantillons correspondant à des individus de longueur totale supérieure à 15 cm, et hors des zones d'interdiction actuelles et de la zone rouge (Fig. 22) présentent une borne supérieure d'intervalle de confiance inférieure à 20 µg/kg pf. Pour les trente échantillons capturés hors des zones interdites et de la zone rouge, toutes tailles confondues, la borne supérieure de l'intervalle de confiance (à 95 %) est à 26,1 µg/kg pf (Tabl. 11). A noter également que la grande amplitude de l'intervalle de confiance, et donc la valeur relativement élevée de sa borne supérieure pour la classe des individus de plus de 18 cm (46,6 µg/kg pf ; Tabl. 11 et Fig. 25 c) est due au très faible effectif de cette classe (3 échantillons).

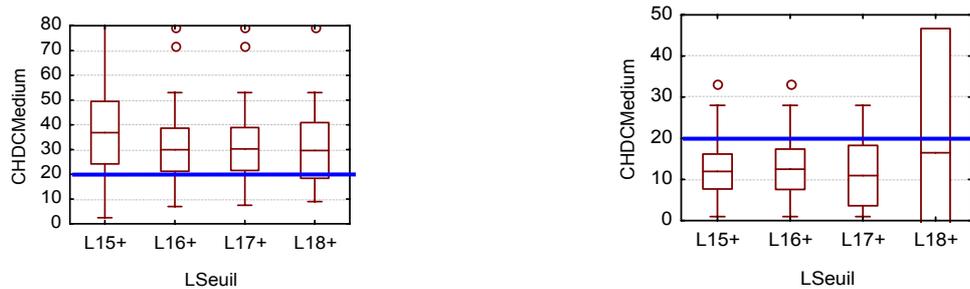
Tabl. 11. Moyennes des concentrations en chlordécone dans les queues de langouste brésilienne *P. guttatus* par seuil de taille, entre les 'zones rouges' sud-atlantique et baie de Fort-de-France d'une part, et l'ensemble des autres zones d'autre part, sous l'hypothèse H2 (demi-valeur du seuil).

Légende du tableau. ZR-EW : ensemble des zones rouge et violette de la Fig. 22. L15- : Tous les individus de moins de 15 cm ; L15+ : tous les individus d'au moins 15 cm ; même principe pour toutes les classes de longueur. En jaune, les valeurs de la borne supérieure de l'intervalle de confiance inférieures à 20 µg/kg pf ; en rose, nombre d'échantillons inférieur à cinq. Moy. ± IC95% : moyenne ± intervalle de confiance à 95 %. N=106.

L seuil	Zone	Classe L/seuil	Moyenne (µg/kg pf)	N	Mini-mum	Maxi-mum	Ecart-type	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%
L15	Hors ZR-EW	L15-	30.8	8	0	121.0	46.5	-8.1	69.7
L15	Hors ZR-EW	L15+	12.0	23	1	33.0	9.8	7.7	16.2
L15	ZR-EW	L15-	78.0	11	7	561.4	163.3	-31.7	187.8
L15	ZR-EW	L15+	36.9	64	2.5	325.5	50.7	24.2	49.5
L16	Hors ZR-EW	L16-	22.8	13	0	121.0	37.6	0.1	45.5
L16	Hors ZR-EW	L16+	12.5	18	1	33.0	9.9	7.6	17.4
L16	ZR-EW	L16-	57.6	35	2.5	561.4	108.6	20.3	95.0
L16	ZR-EW	L16+	30.0	40	7	150.0	27.2	21.3	38.7
L17	Hors ZR-EW	L17-	19.6	21	0	121.0	29.9	6.0	33.2
L17	Hors ZR-EW	L17+	11.0	10	1	28.0	10.3	3.6	18.3
L17	ZR-EW	L17-	49.6	49	2.5	561.4	94.3	22.5	76.7
L17	ZR-EW	L17+	30.3	26	7.5	83.0	21.4	21.6	38.9
L18	Hors ZR-EW	L18-	16.8	28	0	121.0	26.6	6.5	27.1
L18	Hors ZR-EW	L18+	16.5	3	2.5	24.0	12.1	-13.6	46.6
L18	ZR-EW	L18-	45.9	61	2.5	561.4	85.3	24.1	67.8
L18	ZR-EW	L18+	29.6	14	9	79.0	19.5	18.4	40.9



a/ Ensemble des zones



b/ Dans les zones interdites et « zone rouge »

c/ Hors zones interdites et « zone rouge »

CHDCMedium : chlordécone ($\mu\text{g}/\text{kg pf}$)

Fig. 25. Dispersion des concentrations en chlordécone relevées dans les queues de langouste brésilienne *P. guttatus* par seuil de taille autour de la Martinique, sans distinction de zone (a) et selon les zones (b et c) (moyennes calculées sous l'hypothèse des valeurs sous le seuil de quantification posées à la demi-valeur du seuil).

Tabl. 12. Moyennes des concentrations en chlordécone dans les queues de langouste brésilienne *P. guttatus* entre les 'zones rouges' sud-atlantique et baie de Fort-de-France d'une part, et l'ensemble des autres zones d'autre part, sous l'hypothèse H2 (demi-valeur du seuil).

N=106. Moy. \pm IC95% : moyenne \pm intervalle de confiance à 95 %.

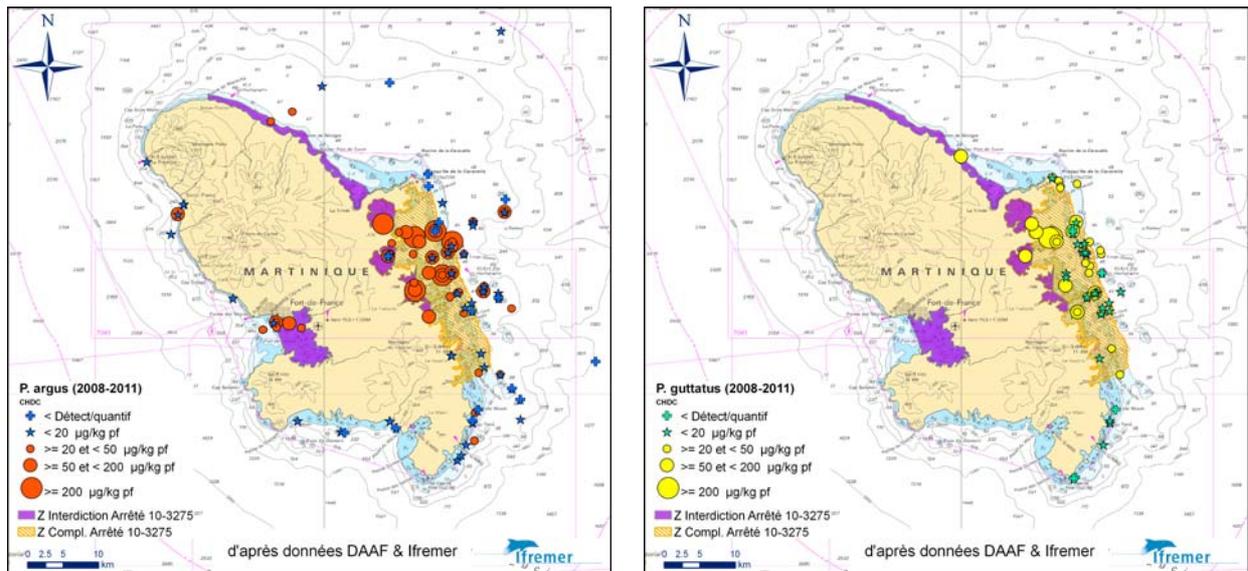
ZRouge-EW	Moyenne	N	Mini-mum	Maxi-mum	Ecart-type	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%
ZR-EW	42.9	75	2.5	561.4	77.5	25.1	60.7
Hors ZR-EW	16.8	31	0.0	121.0	25.4	7.5	26.1

III.3.2.2 Conclusion de l'analyse

Pour la langouste brésilienne *P. guttatus*, les signaux relatifs à la distribution de la concentration en chlordécone selon la taille et la distribution géographique présentent des tendances analogues à ceux qui ont été identifiés pour la langouste blanche *P. argus*, mais de façon moins contrastée. Ainsi, la contamination apparaît plus faible hors des zones rouges, mais avec une plus grande variabilité, sans doute associée aux plus petits effectifs analysés. Seuls les groupes de la fraction des grands individus (au dessus de la valeur seuil) présentent une borne supérieure de l'intervalle de confiance inférieure à 20 $\mu\text{g}/\text{kg pf}$. A l'intérieur des zones rouges, les concentrations moyennes relevées se situent toujours au dessus de la valeur de référence de 20 $\mu\text{g}/\text{kg pf}$, avec une légère décroissance avec l'augmentation de taille.

III.4 Contamination des langoustes autour de la Martinique en relation avec le zonage de l'arrêté préfectoral de 2010

La présente analyse vise à explorer la distribution de la contamination chez les deux espèces de langoustes *P. argus* et *P. guttatus* en relation avec le zonage de l'arrêté préfectoral de 2010 (Anon. 2010). Pour chaque espèce, les échantillons ont été regroupés selon trois ensembles géographiques : les zones d'interdiction totale de l'arrêté, la zone complémentaire de réglementation de la pêche des langoustes également définie dans l'arrêté, et l'ensemble des autres zones (Fig. 26).



Avec : Z. Interdiction : interdiction totale de pêche ; Z. Compl : zone complémentaire de limitation de la pêche des langoustes.

Fig. 26. Limites des zones d'interdiction de pêche et de la zone complémentaire de l'arrêté préfectoral de 2010 (Anon. 2010), et distribution des échantillons de *P. argus* (à gauche) et *P. guttatus* (à droite) constitués de 2008 à 2011 autour de la Martinique. Fond de carte Shom (Shom 2007).

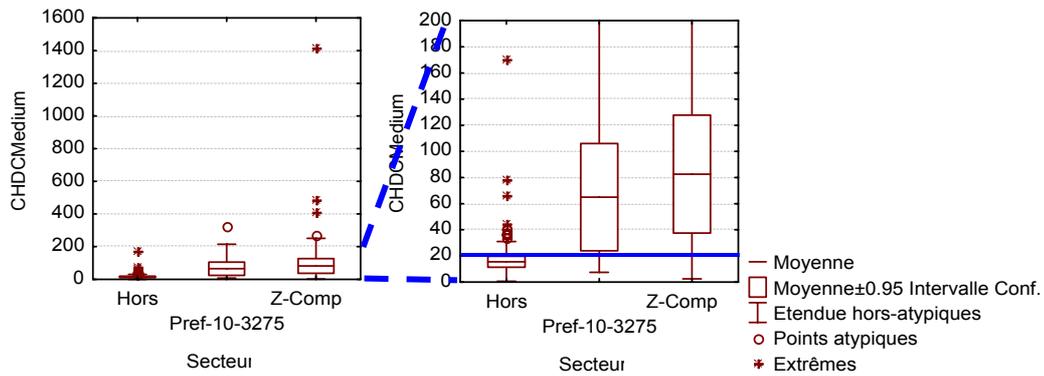
III.4.1 Langouste blanche *P. argus*

Pour la langouste blanche, l'analyse porte sur 186 échantillons géoréférencés par leur lieu de pêche et constitués autour de la Martinique de 2008 à 2011. Le test de Kruskal-Wallis montre une différence très significative entre les résultats relatifs aux trois secteurs ($p = 0,0000$). La différence porte essentiellement sur le secteur situé hors du champ de l'arrêté de 2010 (Anon. 2010), les échantillons prélevés dans ce secteur présentant des niveaux de contamination assez faibles (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne inférieur à $20 \mu\text{g/kg pf}$; Tabl. 13 et Fig. 27). Les deux secteurs faisant l'objet de réglementation présentent des résultats de contamination plus élevés, et très voisins (borne supérieure de l'intervalle de confiance de la moyenne respectivement à 106 et $127,7 \mu\text{g/kg pf}$; Tabl. 13). A noter que les statistiques de moyenne et d'intervalle de confiance pour la zone complémentaire sont tirées par une valeur exceptionnellement élevée relevée en 2009 ($1414 \mu\text{g/kg pf}$, alors que la seconde valeur la plus élevée dans la série est trois fois inférieure : $491 \mu\text{g/kg pf}$).

Tabl. 13. Moyennes des concentrations en chlordécone dans les queues de langouste blanche *P. argus* prélevées sur les zones interdites en totalité et sur la zone complémentaire de l'arrêté préfectoral de 2010, ainsi que hors de ces zones.

Test F et test de Kruskal-Wallis : $F(2;183) = 6.7491$; $p = 0.0015$; $H \text{ KW}(2;186) = 33.4711$; $p = 0.00000$. Sous l'hypothèse $H2$: demi-valeur du seuil de détection.

Secteur	N actifs	Moyenne	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%	Médiane	Mini mum	Maxi mum	Ecart-type
Hors réglementation	98	15.6	11.4	19.8	10.2	0.7	171	20.99
Z. interdites	19	65.0	23.9	106.0	28	7.5	326	85.16
Z. complémentaire	69	82.6	37.5	127.7	23	2.5	1414	187.86
Ensemble des zones	186	45.5	27.8	63.2	14	0.7	1414	122.20



Avec Pref-10-3275 : zones interdites en totalité, Z-Comp : zone complémentaire de l'arrêté (hors zones interdites) ; Hors : hors des zones de l'arrêté. CHDCMedium : chlordécone ($\mu\text{g}/\text{kg pf}$)

Fig. 27. Dispersion des concentrations en chlordécone relevées dans les queues de langouste blanche *P. argus* entre les zones interdites en totalité et zone complémentaire de l'arrêté préfectoral de 2010, sous l'hypothèse H2 (demi-valeur du seuil de détection).

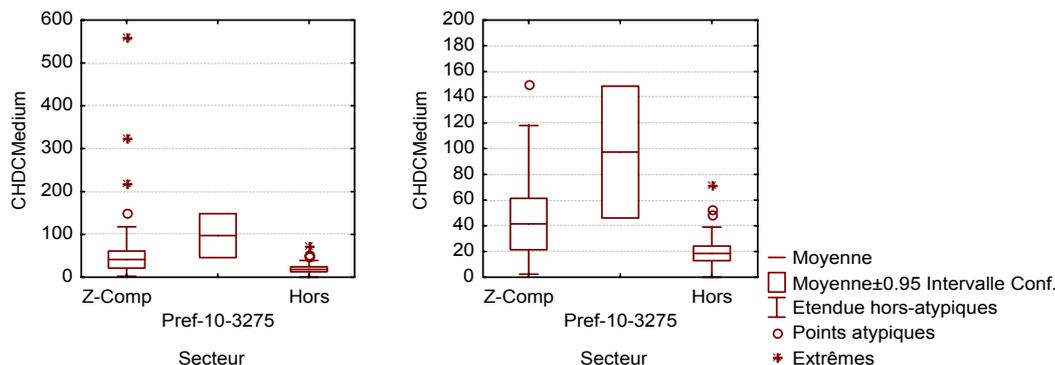
III.4.2 Langouste brésilienne *P. guttatus*

Pour la langouste brésilienne, l'analyse porte sur 106 échantillons géoréférencés par le lieu de pêche et constitués autour de la Martinique de 2008 à 2011. Le test de Kruskal-Wallis montre une différence très significative, bien qu'un peu moins nette que pour la langouste blanche, entre les résultats relatifs aux trois secteurs ($p = 0,005$). En dépit du très faible nombre d'échantillons (3 échantillons, chacun ayant été constitué à partir de 3 à 5 individus) dans les zones totalement interdites à la pêche, on note que c'est dans ce secteur que les concentrations en chlordécone les plus élevées ont été relevées pour cette espèce (moyenne $97,3 \mu\text{g}/\text{kg pf}$, avec des résultats assez homogènes) (Tabl. 14 et Fig. 28). Hors des zones couvertes par l'arrêté, les concentrations relevées sur les 36 échantillons disponibles sont assez basses (moyenne $18,6 \mu\text{g}/\text{kg pf}$, borne supérieure de l'intervalle de confiance à $24,2 \mu\text{g}/\text{kg pf}$). Les valeurs les plus élevées (maximum $72,0 \mu\text{g}/\text{kg pf}$) sont rencontrées en bordure de la zone complémentaire, les échantillons prélevés dans le sud de l'île (canal de Sainte-Lucie) présentent tous des concentrations très faibles (toujours inférieures à $2 \mu\text{g}/\text{kg pf}$).

Tabl. 14. Moyennes des concentrations en chlordécone dans les queues de langouste brésilienne *P. guttatus* entre les zones interdites en totalité et zone complémentaire de l'arrêté préfectoral de 2010, sous l'hypothèse H2 (demi-valeur du seuil de détection).

Test F et test de Kruskal-Wallis : $F(2;103) = 2.7331$; $p = 0.0697$; $H \text{ KW}(2;106) = 10.5532$; $p = 0.0051$

Secteur	Nb actifs	Moyenne	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%	Médiane	Mini-mum	Maxi-mum	Ecart-type
Hors interdictions	36	18.6	12.9	24.2	13.5	0.0	72.0	16.71
Z. complémentaire	67	41.4	21.4	61.4	21.0	2.5	561.4	82.02
Z. interdites	3	97.3	46.0	148.6	88.0	83.0	121.0	20.65
Ensemble	106	35.3	22.3	48.3	18.0	0.0	561.4	67.52



Avec Pref-10-3275 : zones interdites en totalité, Z-Comp : zone complémentaire de l'arrêté (hors zones interdites) ; Hors : hors des zones de l'arrêté. CHDCMedium : chlordécone ($\mu\text{g}/\text{kg pf}$)

Fig. 28. Dispersion des concentrations en chlordécone relevées dans les queues de langouste brésilienne *P. guttatus* dans les zones interdites en totalité et la zone complémentaire de l'arrêté préfectoral de 2010, et hors de ces zones autour de la Martinique, sous l'hypothèse H2 (demi-valeur du seuil de détection).

III.5 Relation entre le sexe et la concentration en chlordécone

La recherche d'une éventuelle relation entre le sexe et la concentration en chlordécone a été effectuée pour les deux espèces sur les échantillons constitués en 2011 sur la façade centre-atlantique de la Martinique (103 *P. argus* et 127 *P. guttatus*).

III.5.1 Langouste blanche *P. argus*

Un test U de Mann-Whitney montre qu'il n'y a pas de différence significative dans la distribution des tailles et dans celle de la concentration en chlordécone pour le muscle caudal entre les deux sexes de *P. argus* ($p = 0,11$ et $p = 0,96$ respectivement) (Fig. 29).

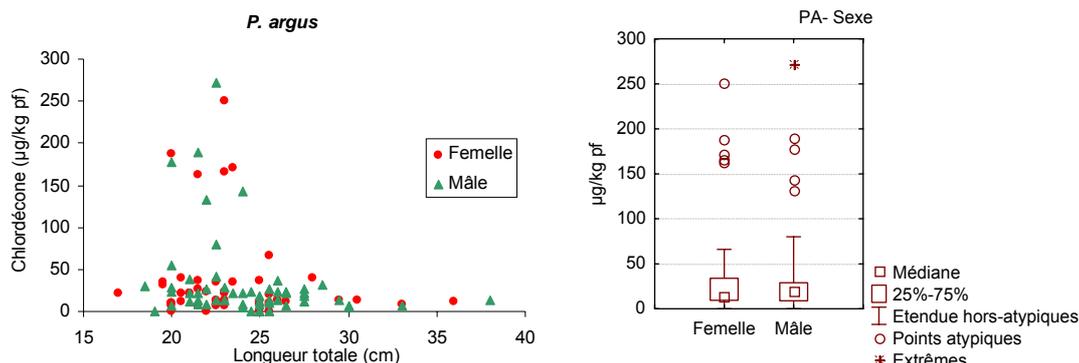


Fig. 29. Distribution de la concentration en chlordécone dans le muscle caudal de la langouste blanche selon le sexe (ensemble des échantillons)

III.5.2 Langouste brésilienne *P. guttatus*

Pour la langouste brésilienne *P. guttatus*, le schéma de distribution des longueurs et de la concentration en chlordécone entre les deux sexes est significativement différent (test U de Mann-Whitney avec $p = 0,0001$ et $p = 0,0007$ respectivement) (Fig. 30).

Compte tenu de l'existence de différence entre les sexes chez la langouste brésilienne, une analyse plus détaillée conduite pour explorer ces relations montre que, dans les trois secteurs, les femelles sont légèrement plus petites que les mâles (Fig. 31). Sans surprise, cette distribution ne présente pas de différence entre l'ensemble des niveaux bathymétriques et les seuls niveaux situés à l'intérieur de la barrière, l'essentiel des échantillonnages étant issus de ces niveaux.

La comparaison de la concentration en chlordécone entre les sexes selon les secteurs montre que la différence n'est pas significative pour le secteur nord ($p = 0,178$), alors qu'elle l'est pour les secteurs centre et sud ($p = 0,002$ et $p = 0,009$ respectivement, test U de Mann-Whitney ; Fig. 32). Dans ces secteurs, les femelles présentent une concentration en chlordécone nettement inférieure à celle des mâles.

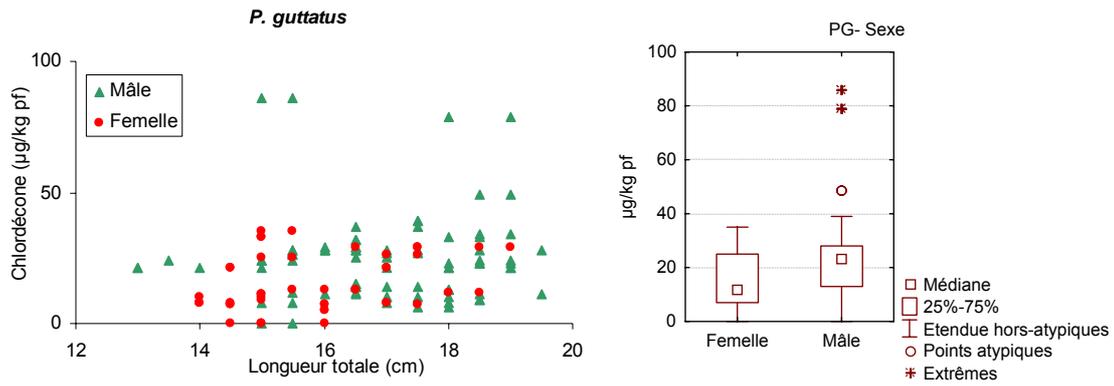


Fig. 30. Distribution de la concentration en chlordécone dans le muscle caudal de la langouste brésilienne selon le sexe (ensemble des échantillons).

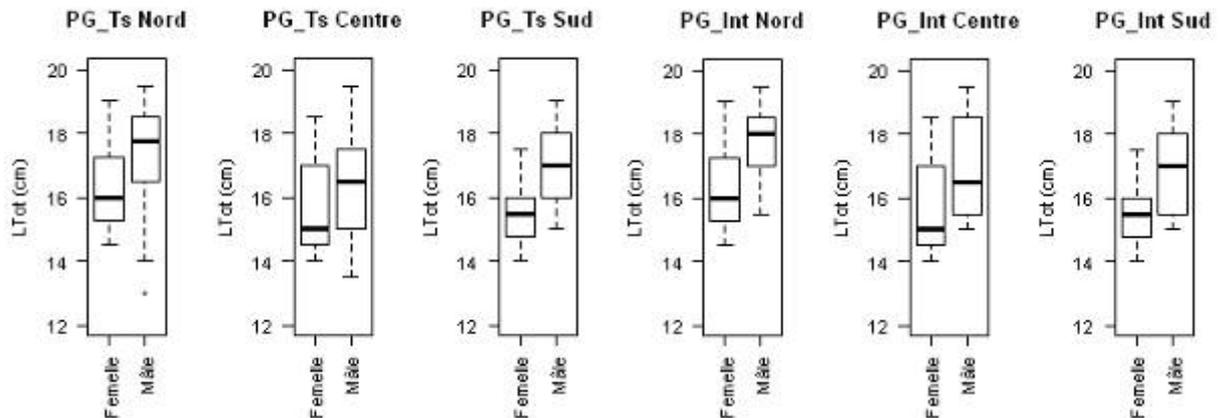


Fig. 31. Distribution des longueurs des langoustes brésilienne *P. guttatus* échantillonnées, par secteur et par niveau bathymétrique, selon le sexe. A gauche tous les niveaux bathymétriques (Ts), à droite seulement les secteurs intérieurs (Int) jusqu'à la barrière corallienne incluse.

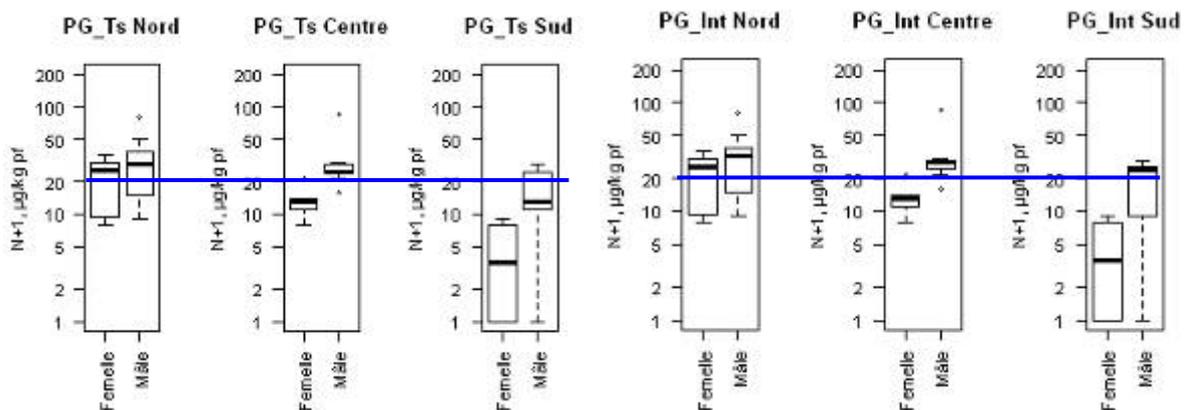


Fig. 32. Concentration en chlordécone des queues de langouste brésilienne *P. guttatus* en relation avec le sexe des individus dans les trois secteurs étudiés. A gauche tous les échantillons (Ts), à droite les seuls échantillons prélevés du littoral jusqu'à la barrière corallienne incluse (Int).

III.6 Relation entre la pigmentation du tégument de la langouste blanche et la concentration en chlordécone

Sur les 207 individus de langouste blanche *P. argus* analysés selon le critère de pigmentation tégumentaire, 204 ont été classés à partir des photos réalisées. Ils ont été analysés dans le but d'évaluer leur répartition spatiale et de tester l'hypothèse d'une relation entre la pigmentation tégumentaire et l'éloignement à la côte d'une part, une éventuelle relation entre la pigmentation tégumentaire et la concentration des tissus en chlordécone d'autre part.

III.6.1 Répartition spatiale des échantillons selon la couleur du tégument

La carte de la Fig. 33 ne met pas en évidence de signal net de répartition des individus selon la pigmentation. En effet, des individus à tégument crème (classe A, huit individus), relativement peu nombreux, ont été observés sur toute l'étendue des sondes explorées. Même si les individus à pigmentation dominante marron (classe B, 42 individus) semblent plutôt inféodés à la zone centrale de l'aire échantillonnée, le mélange avec les deux autres classes est élevé. Enfin, les individus à pigmentation dominante rouge (classe C, 50 individus) semblent plutôt associés aux zones situées le plus au large, mais là encore avec un fort mélange avec les deux autres classes.

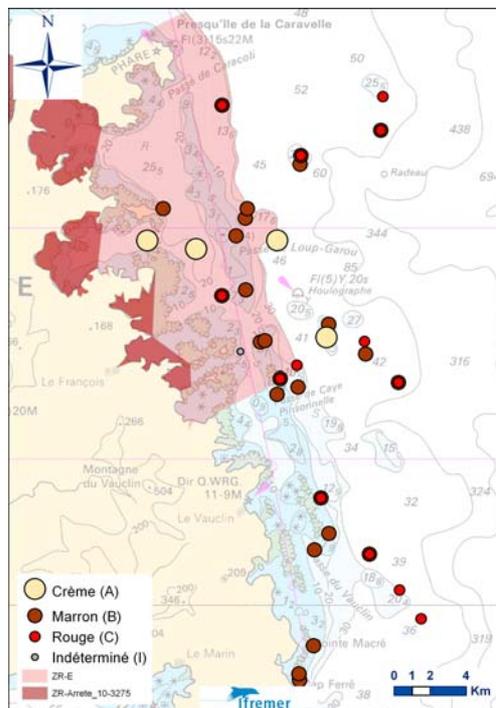


Fig. 33. Répartition spatiale de la langouste blanche *P. argus* selon la pigmentation tégumentaire (échantillonnages 2011).

III.6.2 Relation entre la coloration du tégument et la concentration en chlordécone

Les moyennes de concentration relevées pour les classes A (crème) et B (marron) sont pratiquement identiques (environ 47 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf, Tabl. 15). La concentration moyenne pour la classe C est plus faible (21,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf). Toutefois la dispersion des valeurs (Fig. 34) est telle que la différence n'est pas significative (test de Kruskal-Wallis : $H(3, N=103) = 7.720684$ $p = 0.052$).

Tabl. 15. Concentration en chlordécone (valeurs médium) chez la langouste blanche par classe de pigmentation.

Classe pigmentation	Nb. indiv.	Moy	Min	Max	Ecart-type
A (crème)	8	46.6	10.0	188	59.66
B (marron)	42	47.8	2.5	271	66.33
C (rouge)	50	21.7	2.5	251	35.91
I (indéterminé)	3	28.6	21.0	35	7.09

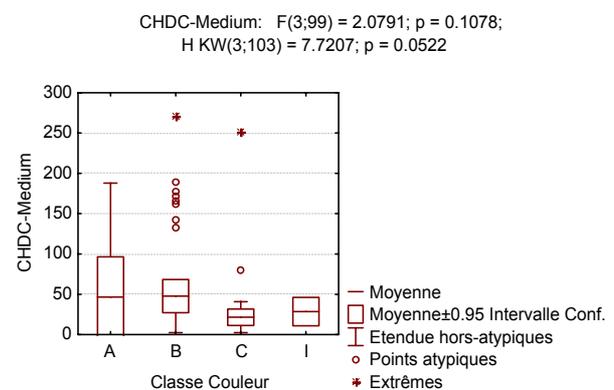


Fig. 34. Distribution de la concentration en chlordécone par classe de pigmentation chez la langouste blanche (intervalle de confiance à 95 % de la moyenne).

III.6.3 Conclusion de l'analyse de la relation avec la pigmentation de la langouste blanche

Conformément aux appréciations rapportées par les pêcheurs et à leur hypothèse relative à sa contamination par la chlrodécone, un signal d'une relation entre la pigmentation de la langouste blanche *P. argus*, sa distribution géographique et sa contamination en chlrodécone a bien été détecté en référence aux classes de pigmentation définies pour la présente étude, entre les individus à pigmentation dominante crème et marron (classes A et B de l'étude) d'une part, et les individus à pigmentation dominante rouge (classe C de l'étude) d'autre part. Toutefois, la variabilité à l'intérieur de chaque classe, tant en terme de répartition géographique que de concentration en chlrodécone, est trop forte pour que les différences de contamination relevées entre les différentes classes soient significatives. En outre, considérant la difficulté à positionner chaque individu dans les différentes classes (critère qualitatif), le paramètre n'apparaît pas opérationnel dans une perspective de sélection des individus en vue d'application réglementaire.

III.7 Comparaison de la concentration en chlrodécone entre le céphalothorax et la queue pour *P. argus* et *P. guttatus*

Des comparaisons de la concentration en chlrodécone entre les chairs molles du céphalothorax et le muscle de la queue sur les deux espèces de langoustes ont été effectuées avec des échantillons collectés au cours de la présente étude, en majorité sur le secteur nord de la zone de prélèvement (façade centre-atlantique), réputé comme potentiellement le plus contaminé d'après les études antérieures (« zone rouge » décrite antérieurement).

Pour les deux espèces, les résultats montrent une différence de concentration importante entre le muscle caudal et les tissus mous du céphalothorax, avec des teneurs en chlrodécone en général nettement plus élevées dans ces derniers (Fig. 35), sans distinction entre les sexes. Les écarts entre individus sont importants (R^2 très faible). Dans la principale plage de valeurs étudiée (jusqu'à 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf pour les tissus mous du céphalothorax), les ordres de grandeur de l'écart relevé entre les deux types d'organes se situent en général dans un rapport compris entre un à deux et un à trois, l'écart s'accroissant pour les deux espèces avec le niveau de contamination. Dans cette plage, la pente calculée pour *P. argus* est plus faible que pour *P. guttatus*, suggérant une amplification relative de l'écart pour les plus grandes valeurs (Fig. 35 gauche), tendance toutefois infirmée par les quelques données portant sur des concentrations plus élevées (supérieures à 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf dans les tissus du céphalothorax).

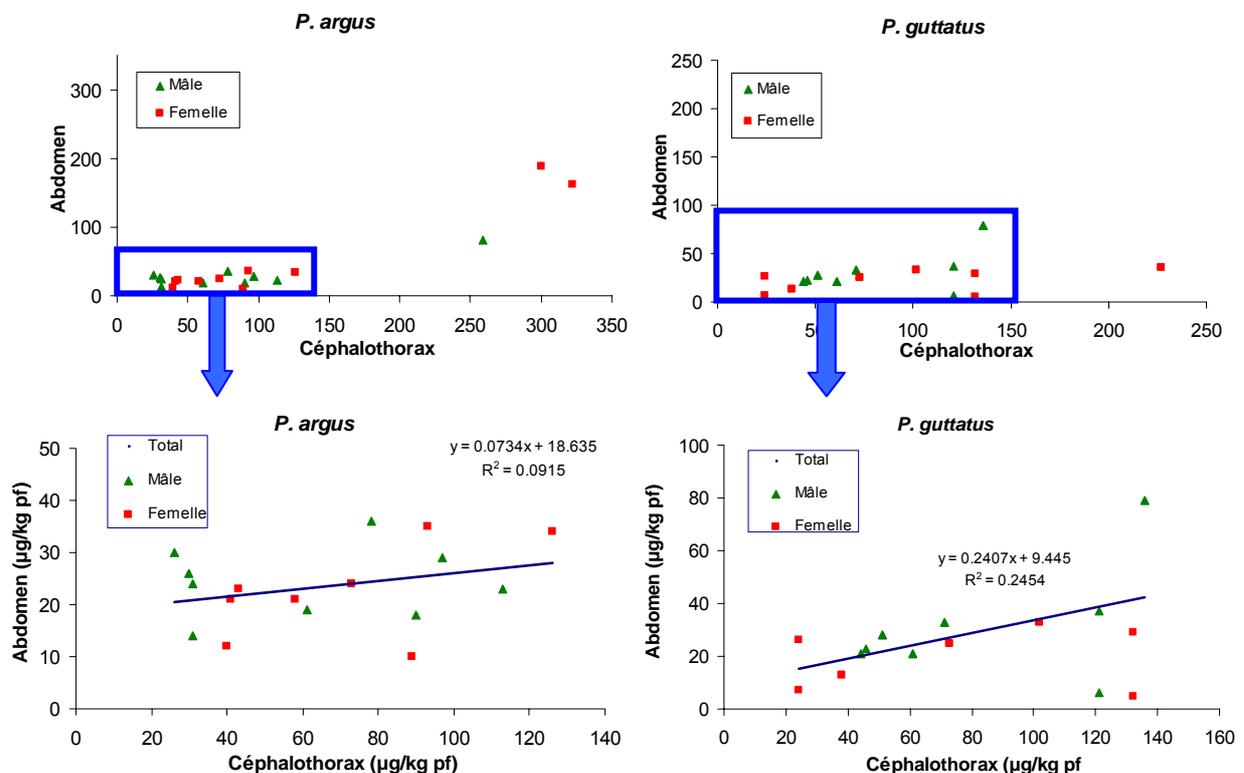


Fig. 35. Contamination en chlrodécone du muscle caudal et des tissus mous du céphalothorax (en $\mu\text{g}/\text{kg}$ pf) de langouste blanche *P. argus* et de langouste brésilienne *P. guttatus*.

III.8 Résultats pour *Carpilius corallinus* et *Parribacus antarcticus*

Les quelques échantillons de crabe corail *Carpilius corallinus* et de cigale savate *Parribacus antarcticus* ont été prélevés à une même position, sur des fonds de 20 mètres à l'extérieur de la barrière, à la limite entre le secteur nord et le secteur centre de la présente étude.

Les trois échantillons de cigale savate, constitués chacun de un et deux individus, ont tous présenté un signe de contamination, à un niveau bas (7 et 14 µg/kg pf). Pour le crabe corail, les résultats des quatre échantillons sont plus diversifiés, de 8 à 121 µg/kg pf. Tous les échantillons étaient constitués à partir d'un individu, sauf un de deux individus (avec une contamination de 22 µg/kg pf).

[IV] Conclusion

En 2009, les langoustes, essentiellement la langouste blanche *P. argus* et secondairement la langouste brésilienne *P. guttatus*, ont représenté environ 25 % du chiffre d'affaires des pêcheurs professionnels de Martinique (données du SIH). Une part très importante de ces captures provenaient de la zone centre-atlantique de l'île, du Marigot au Vauclin (51 % des langoustes blanches et 83 % des langoustes brésiliennes). L'étude réalisée en 2011 a permis d'approfondir les connaissances sur la contamination des langoustes par la chlordécone dans ce secteur.

La différence des traits de vie de la langouste blanche et de la langouste brésilienne induit des distinctions importantes face à leur contamination par la chlordécone. En effet, le caractère migrant de la langouste blanche *P. argus* la conduit à fréquenter des milieux de contamination plus variée que la langouste brésilienne *P. guttatus*, plus sédentaire en zone littorale.

La présente étude confirme l'extension de la contamination de la langouste blanche *P. argus* le long de la façade centre-atlantique de la Martinique au-delà des baies littorales. Elle confirme également que, en dépit de l'intensification de l'échantillonnage, les limites de cette extension restent très floues, sans doute principalement en liaison avec la forte mobilité des animaux. Il est donc difficile de définir avec précision des limites d'extension de cette contamination selon des valeurs de référence. Avec ces réserves, sur la zone étudiée de la presqu'île de la Caravelle au cap Ferré, on peut noter que les signes de contamination les plus forts se situent dans le secteur nord-ouest, de la presqu'île de la Caravelle jusqu'à la pointe Cerisier, et vers le large jusque vers la sonde des trente mètres, c'est-à-dire sur une zone apparaissant un peu moins étendue vers le sud que la zone complémentaire définie par l'arrêté préfectoral de 2010 (Anon. 2010). Dans ce secteur, les concentrations relevées dans le muscle caudal dépassent régulièrement la valeur de référence de 20 µg/kg pf (médiane en général entre 50 et 100 µg/kg pf). A l'extérieur de ces secteurs, en s'éloignant vers le sud et vers l'est, la majorité des valeurs relevées se situent en dessous de 20 µg/kg pf (médiane autour de 10 µg/kg pf). Les secteurs de plus forte contamination se situent ainsi en relation étroite avec les bassins versants les plus contaminés (Desprat *et al.* 2004). Sur la base des présentes analyses et des connaissances disponibles sur la contamination de la faune halieutique marine à la Martinique (Bertrand *et al.* 2009; Bodiguel *et al.* 2011), d'autres secteurs actuellement mal caractérisés pourraient justifier d'une attention particulière vis-à-vis de la contamination des langoustes, comme la zone de la baie de Sainte-Marie et l'ouvert de la baie de Fort-de-France.

L'étude a également permis d'illustrer l'étagement de la distribution géographique de la langouste blanche selon la taille des individus, des plus petits (longueur totale moyenne d'environ 20 cm dans nos échantillons) en zone littorale (sondes inférieures à 10 m) aux plus grands (longueur totale moyenne d'environ 25 cm dans nos échantillons) au-delà de la barrière. Associé à cette distribution, c'est chez les plus petits individus que les concentrations en chlordécone les plus élevées ont été rencontrées. Selon les différents scénarios de zonage explorés autour de la Martinique, la longueur totale de 25 cm apparaît comme une taille seuil en relation avec la borne supérieure à 20 µg/kg pf de l'intervalle de confiance (à 95 %) de la concentration moyenne en chlordécone dans les queues de langouste blanche. Cette taille est supérieure à la taille réglementaire actuelle pour la pêche (22 cm). Une augmentation de la taille minimale de capture de la langouste blanche par rapport aux captures actuelles (encore souvent inférieures à 22 cm) pourrait contribuer à minimiser le risque d'exposition des consommateurs tout en favorisant une augmentation de la production halieutique de l'espèce autour de l'île, à condition que les pêcheurs soient en mesure d'accéder dans des conditions économiquement acceptables aux individus de plus grande taille. Cette perspective reste toutefois à démontrer, la fraction la plus grande de la population de langouste blanche ne faisant actuellement pas l'objet de pêche ciblée autour de l'île.

Pour la langouste brésilienne, une légère différence de concentration en chlordécone a été relevée entre les deux sexes, les femelles étant apparues moins contaminées que les mâles, particulièrement dans le secteur sud de la zone d'étude. Ce résultat suggère l'hypothèse d'une plus rapide biodégradation de la molécule par les femelles lorsque les animaux vivent éloignés des sources de contamination.

Contrairement à la langouste brésilienne, aucune relation entre le sexe et la contamination n'a pu être détectée pour la langouste blanche. D'autre part, si l'exploration d'une relation entre la contamination de la langouste blanche et sa pigmentation tégumentaire a bien permis de détecter un très léger signal, celui-ci est apparu très faible et très imprécis.

En conclusion, les résultats obtenus suggèrent le scénario suivant pour la langouste blanche : une contamination des stades jeunes pendant leur fréquentation des zones littorales situées au pied des bassins versants contaminés, puis une tendance à la décontamination lorsque les animaux s'éloignent de la côte au fil de leur croissance. Sur les littoraux concernés, la contamination s'étendrait à l'ensemble du platier corallien lorsqu'il en existe.

En tendance générale, dans les zones littorales que les deux espèces fréquentent en commun, la langouste brésilienne présente des concentrations en chlordécone légèrement inférieures à celles relevées chez la langouste blanche. Comme pour l'espèce précédente, dans la zone centre-atlantique on note une décroissance du nord vers le sud de la zone d'étude, avec des valeurs très faibles (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % inférieure à 20 µg/kg pf) dès le sud de la pointe Cerisier, suggérant l'hypothèse d'une relativement faible mobilité des individus le long de la côte.

Il convient également de rappeler que tous les résultats présentés précédemment ont été établis à partir d'analyses effectuées sur le muscle caudal (« queue ») des langoustes. Or, les différents organes ne concentrent pas au même niveau la molécule. Ainsi, Monti et Thomé (in Anon. 2011) notent que, chez certains crustacés d'eau douce, le muscle est le tissu le moins chargé, la molécule étant accumulée avec une concentration plus grande dans le céphalothorax (tête) et dans la carapace, cette dernière piégeant quatre fois plus de polluant en moyenne. Pour les deux espèces de langoustes étudiées, nous avons relevé des écarts de concentration en chlordécone assez variables, se situant en moyenne dans un rapport de l'ordre de un à 2,5 entre le muscle caudal et l'ensemble des tissus mous du céphalothorax.

Enfin, les échantillons de crabe corail *Carpilius corallinus* et de cigale savate *Parribacus antarcticus* rassemblées dans le cadre de cette étude sont trop peu nombreux pour en tirer un enseignement significatif. Les traces relevées sur tous les échantillons, ainsi que l'unique valeur relativement élevée de 121 µg/kg pf sur un crabe corail, alors que tous ces échantillons ont été prélevés en un point relativement éloigné du littoral (fonds de 20 mètres) constituent toutefois un indice de la contamination de ces espèces.

Références bibliographiques

- Anon., 2008. Arrêté du 30 juin 2008 relatif aux limites maximales applicables aux résidus de chlordécone que ne doivent pas dépasser certaines denrées alimentaires d'origine végétale et animale pour être reconnues propres à la consommation humaine. JORF 4 juillet 2008. NOR : AGRG0816067A. 10 p.
- Anon., 2010. Arrêté préfectoral N° 10-3275 du 7 octobre 2010 réglementant la pêche et la mise sur le marché des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Martinique en lien avec les bassins versants contaminés par le chlordécone. Préfecture, Fort-de-France, Martinique. 4 p.
- Anon., 2011. En Action N° 12. Le mensuel du plan Chlordécone en Martinique et en Guadeloupe. N° 12. 2 p.
- Augris C. ed 2000. Carte des formations superficielles du plateau insulaire de la Martinique. Cartes et atlas. Ifremer. ALT-Brest: 4 cartes + 32 p.
- Bertrand J. A., A. Abarnou, G. Bocquené, J. F. Chiffolleau & L. Reynal, 2009. Diagnostic de la contamination chimique de la faune halieutique des littoraux des Antilles françaises. Campagnes 2008 en Martinique et en Guadeloupe. Ifremer, Martinique. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6896/>. 136 p.
- Bertrand J. A., X. Bodiguel, A. Abarnou, L. Reynal & G. Bocquené, 2010. Chlordecone in the marine environment around the French West Indies: from measurement to pollution management decisions. ICES, CM 2010 / F07. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00014/12511/>. 9 p.
- Bocquené G. & A. Franco, 2005. Pesticide contamination of the coastline of Martinique. *Marine Pollution Bulletin* 51: 612–619.
- Bodiguel X., J. A. Bertrand & J. Frémery, 2011. Devenir de la chlordécone dans les réseaux trophiques des espèces marines consommées aux Antilles (Chloretro). Ifremer, Martinique. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00036/14684/> 46 p.

- Bouchon C. & S. Lemoine, 2003. Niveau de contamination par les pesticides des chaînes trophiques des milieux marins côtiers de la Guadeloupe et recherche de biomarqueurs de génotoxicité. UAG - DIREN, Pointe-à-Pitre. 71 p.
- Bouchon C. & S. Lemoine, 2007. Contamination par les pesticides des organismes marins de la baie du Grand Cul-de-Sac Marin (île de la Guadeloupe). UAG-Dynecar, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe. 148 p.
- Buesa R. J., 1972. Producción primaria de las praderas de *Thalassia testudinum* de la plataforma nor-occidental de Cuba. *Contribuciones Investigaciones Pesqueras* **3**: 101-143.
- Butler M. J. & W. F. Herrnkind, 1997. A test of recruitment limitation and the potential for artificial enhancement of spiny lobster (*Panulirus argus*) populations in Florida. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **4**: 452-463.
- Carpenter K. E. ed 2002. The living marine resources of the western central Atlantic. FAO Species identification guide for fisheries purposes. FAO, <http://www.fao.org/docrep/009/y4160e/y4160e00.htm>, Rome: 2127 p.
- Castañó O. & E. Cadima, 1993. Biología y evaluación de la langosta espinosa (*Panulirus argus*). Simposium sobre evaluación y manejo de las pesquerías de crustáceos en Nicaragua 6 y 7 de diciembre de 1993. 53 p.
- Coat S., D. Monti, P. Legendre, C. Bouchon, F. Massat & G. Lepoint, 2011. Organochlorine pollution in tropical rivers (Guadeloupe): Role of ecological factors in food web bioaccumulation. *Environmental Pollution* **159**: 1692-1701.
- Cruz R., 1980. Fecundidad y madurez sexual en la langosta comercial *Panulirus argus* (Latreille, 1804) Crustácea: Palinuridae en Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* **5** (1): 1-27.
- Cruz R., 1999. Variabilidad del reclutamiento y pronóstico de la pesquería de langosta (*Panulirus argus*, Latreille 1804) en Cuba, Ciencias Biológicas, La Habana. 99 p.
- Desprat J. F., J. P. Comte & C. Chabrier, 2004. Cartographie du risque de pollution des sols de Martinique par les organochlorés. Rapport phase III : synthèse. BRGM, RP/53262-FR. 25 p.
- Ehrhardt N. M., 2008. Estimating growth of the Florida spiny lobster, *Panulirus argus*, from molt frequency and size increment data derived from tag and recapture experiments. *Fisheries Research* **93** 332-337.
- Farrugio H., 1975. Clé de détermination commentée des langoustes et des scyllares de la Martinique. *Science et Pêche (ISTPM)* **247** (05): 1-9.
- Farrugio H., 1976. Contribution à la connaissance de la sexualité des langoustes *Panulirus Guttatus* et *Panulirus Argus* dans les eaux Martiniquaises. *Science et Pêche (ISTPM)* **254**: 1-11.
- Farrugio H. & C. Saint-Felix, 1975. Etude des fonds de pêche du littoral atlantique martiniquais : ressources, exploitation, prospectives. *Science et Pêche (ISTPM)* **251** (10): 1-17.
- Fonteles-Filho A. A. & C. T. Correa Ivo, 1980. Migratory behaviour of the spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille), off Ceara State, Brazil. *Arquivos de ciencias do mar. Fortaleza* **20** (1-2): 25-32.
- Gobert B., 1991. Eléments d'évaluation de l'état des ressources en langoustes du plateau insulaire martiniquais. *Pôle de recherche océanologique et halieutique Caraïbe*: Ifremer-UAG-Orstom, Fort-de-France (Martinique). *Doc. sci.* **32**. 26 p.
- Gregory J., R. F. Labisky & C. L. Combs, 1982. Reproductive dynamics of the spiny lobster *Panulirus argus* in south Florida. *Transactions of the American Fisheries Society* **111** (5): 575-584.
- Herrnkind W. F., 1980. Spiny Lobsters: Patterns of Movement. In *The Biology and Management of Lobsters*, Vo. I: Physiology and Behavior. J.S. Cobb & B.F. Phillips eds. Academic Press, New York: 350-389.
- Herrnkind W. F. & M. J. Butler, 1986. Factors regulating postlarval settlement and juvenile microhabitat use by spiny lobsters *Panulirus argus*. *Mar Ecol Prog Ser* **34**: 23-30.
- Legrand H., 2009. Base de données cartographique des fonds marins côtiers de la Martinique. OMMM & Diren, Fort-de-France. 73 p.
- Lyons W. G., D. G. Barber, S. M. Foster, F. S. J. Kennedy & G. R. Milano, 1981. The spiny lobster, *Panulirus argus*, in the middle and upper Florida Keys: population structure, seasonal dynamics, and reproduction. *Fla. Mar. Res. Pubs.* **38**: 1-45.
- Robert S., 2012. Historique de la contamination des sédiments littoraux des Antilles françaises par la chlordécone (Chlosed). Rapport final. Ifremer, <http://archimer.ifremer.fr/doc/00071/18247/>. 93 p.
- Sharp W. C., J. H. Hunt & W. G. Lyons, 1997. Life history of the spotted spiny lobster, *Panulirus guttatus*, an obligate reef-dweller. *Marine and Freshwater Research* **48**: 687-698.
- Shom, 2007. Petites Antilles. Partie centrale, de Montserrat à Saint Lucia. Shom, France. Carte 7631.
- Soares C. N. C. & P. P. L. Cavalcante, 1984. Dinámica reproductiva de las langostas *Panulirus argus* y *Panulirus laevicauda* del litoral de la región nororiental del Brasil. COPACO, Grupo de trabajo sobre evaluación de recursos pesqueros marinos. 4ta Reunión. Bogotá, Colombia.
- StatSoft, 2010. Statistica (logiciel d'analyse des données), version 9.1. www.statsoft.fr.
- Venables W. N. & D. M. Smith, 2002. Une introduction à R. Version 1.5.0 (2002-04-29).

Annexe 1. Modèle de fiche de terrain

Références de l'opération de pêche				
Campagne	N° d'opération	Secteur	Date de capture	Heure de levage
Ifremer-EL-	_____	- _____	___ / ___ / 201__	___ h ___

Pêcheur :	Observateur :
-----------------	---------------------

Immatriculation bateau :	Profondeur (en m) : début/fin ___ / ___
--------------------------------	---

Position de levage (GPS) (système géodésique du GPS : WGS 84) : Début Long. W : -60, _____ Lat N : 14, _____ Fin (pour filet) Long. W : -60, _____ Lat N : 14, _____	Engin de capture Nasse <input type="checkbox"/> Filet <input type="checkbox"/>
--	---

Nature du fond : Sable <input type="checkbox"/> Vase <input type="checkbox"/> Roche <input type="checkbox"/> - Couleur de l'eau : Claire <input type="checkbox"/> Trouble <input type="checkbox"/>
--

Référence des échantillons N° Echant. : _____ Espèce <i>P. argus</i> <input type="checkbox"/> <i>P. guttatus</i> <input type="checkbox"/> Poids indiv. : _____ g LT (précision 0.5) : _____ cm LC (précision 0.1) : ___ cm Sexe : ♂ <input type="checkbox"/> ♀ <input type="checkbox"/> Œufs externes <input type="checkbox"/> Date/Heure congélation : ___ h ___ <i>Type de prélèvement</i> « Queue » <input type="checkbox"/> Poids prélèv. (g) : _____ Céphalothorax <input type="checkbox"/> Poids prélèv. (g) : _____ Couleur du tégument : Classe (à définir) A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> (a posteriori) Photo vue dorsale <input type="checkbox"/>

Observations :

Annexe 2. Distinction entre espèces et sexes chez *P. argus* et *P. guttatus*



Panulirus argus

Critères morphologiques :

- Quatre points blancs bien identifiables sur le troisième et le dernier segment abdominal
- Deux paires de longues épines entre les antennes



Panulirus guttatus

Critères morphologiques :

- Une multitude de points blancs sur l'ensemble du corps
- Une seule paire de longues épines entre les antennes

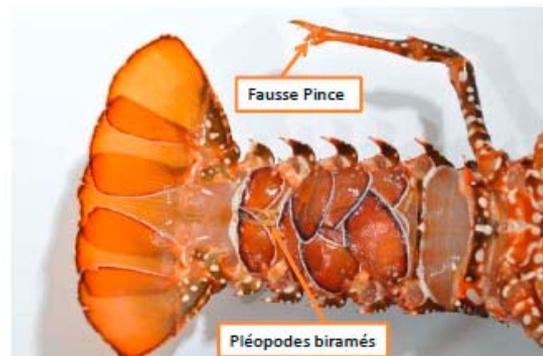
d'après le Guide d'identification des espèces de la FAO (Carpenter 2002)



Mâle

Critères morphologiques :

- Pléopodes uniramés
- Offices génitaux à la base des cinquièmes pattes thoraciques



Femelle

Critères morphologiques :

- Grandes pléopodes biramés
- Présence d'une fausse pince sur les cinquièmes pattes thoraciques

Annexe 3. Comparaison d'options de gestion des valeurs sous le seuil de quantification chez la langouste blanche *P. argus*

Une exploration de l'impact du choix de gestion des valeurs sous le seuil de quantification pour leur intégration dans les calculs statistiques a été effectuée sur les séries de données de queue de langouste blanche rassemblés pendant les campagnes d'observation de 2008 à 2011, et regroupées par classes de taille (186 données). Les données ont également été regroupées en deux ensembles de zones identifiées pour leur contraste en matière de contamination par la chlordécone, les baies de Fort-de-France et de la façade centre-atlantique élargies à l'ensemble de la zone rouge d'une part, l'ensemble des autres zones d'autre part. En outre, pour chaque ensemble de zones les individus ont été séparés en deux groupes de taille de part et d'autre d'une valeur seuil mobile de 22 à 30 cm (LT).

Les tableaux ci-dessous présentent les moyennes et intervalles de confiance calculés en considérant trois hypothèses pour les valeurs inférieures au seuil de détection/quantification fournie par chaque laboratoire d'analyse (Tabl. 7) : H1 valeurs sous le seuil posées à zéro (Tabl. 16), H2 ces valeurs posées à la moitié de la valeur seuil (Tabl. 17), et H3 ces valeurs posées à la valeur seuil (Tabl. 18).

Tabl. 16. Moyennes des concentrations en chlordécone dans les queues de langouste blanche *P. argus* par seuil de taille, entre les 'zones rouges' sud-atlantique et baie de Fort-de-France (codées ZR-EW) d'une part, et l'ensemble des autres zones d'autre part, sous l'hypothèse H1 (données sous le seuil posées à zéro).

L Seuil	Zones	Classe L/seuil	µg/kg pf	N	Mini-mum	Maxi-mum	Ecart-type	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%
L22		L22-	14.7	30	0.0	78.9	16.0	8.7	20.7
L22		L22+	14.4	64	0.0	171.0	23.5	8.5	20.2
L22	ZR-EW	L22-	109.6	41	0.0	1414.0	236.8	34.9	184.4
L22	ZR-EW	L22+	49.5	51	0.0	271.0	67.1	30.6	68.4
L23		L23-	14.9	41	0.0	78.9	15.7	9.9	19.8
L23		L23+	14.2	53	0.0	171.0	24.9	7.3	21.1
L23	ZR-EW	L23-	97.9	55	0.0	1414.0	209.1	41.4	154.4
L23	ZR-EW	L23+	44.2	37	0.0	251.0	58.9	24.5	63.8
L24		L24-	17.3	50	0.0	171.0	26.5	9.8	24.9
L24		L24+	11.2	44	0.0	66.0	12.6	7.4	15.1
L24	ZR-EW	L24-	97.3	65	0.0	1414.0	194.8	49.0	145.6
L24	ZR-EW	L24+	25.7	27	0.0	143.0	29.6	14.0	37.4
L25		L25-	15.9	57	0.0	171.0	25.2	9.3	22.6
L25		L25+	12.2	37	0.0	66.0	13.4	7.7	16.7
L25	ZR-EW	L25-	93.1	71	0.0	1414.0	187.4	48.7	137.4
L25	ZR-EW	L25+	19.6	21	0.0	62.0	13.5	13.4	25.7
L26		L26-	14.5	74	0.0	171.0	23.4	9.0	19.9
L26		L26+	14.5	20	0.0	40.0	10.5	9.6	19.4
L26	ZR-EW	L26-	86.5	78	0.0	1414.0	180.0	45.9	127.1
L26	ZR-EW	L26+	19.5	14	0.0	62.0	15.0	10.8	28.2
L27		L27-	14.5	79	0.0	171.0	22.7	9.4	19.6
L27		L27+	14.2	15	0.0	40.0	11.6	7.8	20.6
L27	ZR-EW	L27-	82.3	83	0.0	1414.0	175.2	44.0	120.5
L27	ZR-EW	L27+	21.1	9	5.0	62.0	16.5	8.5	33.8
L28		L28-	14.4	82	0.0	171.0	22.4	9.5	19.3
L28		L28+	15.0	12	0.0	40.0	12.1	7.3	22.7
L28	ZR-EW	L28-	80.9	85	0.0	1414.0	173.4	43.5	118.3
L28	ZR-EW	L28+	20.7	7	5.0	62.0	18.9	3.3	38.2
L29		L29-	14.9	85	0.0	171.0	22.2	10.1	19.6
L29		L29+	10.9	9	0.0	26.5	8.4	4.5	17.4
L29	ZR-EW	L29-	80.2	86	0.0	1414.0	172.5	43.2	117.2
L29	ZR-EW	L29+	20.5	6	5.0	62.0	20.7	-1.2	42.2
L30		L30-	14.7	86	0.0	171.0	22.2	9.9	19.4
L30		L30+	12.3	8	3.0	26.5	7.8	5.7	18.9
L30	ZR-EW	L30-	78.7	88	0.0	1414.0	170.8	42.5	114.8
L30	ZR-EW	L30+	24.0	4	5.0	62.0	25.7	-16.9	64.9

Tabl. 17. Moyennes des concentrations en chlordécone dans les queues de langouste blanche *P. argus* par seuil de taille, entre les 'zones rouges' sud-atlantique et baie de Fort-de-France (codées ZR-EW) d'une part, et l'ensemble des autres zones (codées Hors ZR-EW) d'autre part, sous l'hypothèse H2 (demi-valeur du seuil).

L Seuil	Zones	Classe L/seuil	µg/kg pf	N	Mini-mum	Maxi-mum	Ecart-type	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%
L22	Hors ZR-EW	L22-	14.7	30	0.7	78.9	16.0	8.7	20.6
L22	Hors ZR-EW	L22+	14.8	64	0.7	171.0	23.2	9.0	20.6
L22	ZR-EW	L22-	110.0	41	2.5	1414.0	236.6	35.3	184.6
L22	ZR-EW	L22+	50.3	51	2.5	271.0	66.5	31.6	69.0
L23	Hors ZR-EW	L23-	15.0	41	0.7	78.9	15.6	10.0	19.9
L23	Hors ZR-EW	L23+	14.6	53	0.7	171.0	24.7	7.8	21.4
L23	ZR-EW	L23-	98.6	55	2.5	1414.0	208.8	42.1	155.0
L23	ZR-EW	L23+	44.6	37	2.5	251.0	58.6	25.1	64.2
L24	Hors ZR-EW	L24-	17.4	50	0.7	171.0	26.5	9.8	24.9
L24	Hors ZR-EW	L24+	11.8	44	1.0	66.0	12.1	8.1	15.5
L24	ZR-EW	L24-	97.9	65	2.5	1414.0	194.5	49.7	146.1
L24	ZR-EW	L24+	26.3	27	5.0	143.0	29.1	14.8	37.8
L25	Hors ZR-EW	L25-	16.0	57	0.7	171.0	25.1	9.4	22.7
L25	Hors ZR-EW	L25+	12.8	37	1.0	66.0	12.9	8.5	17.1
L25	ZR-EW	L25-	93.7	71	2.5	1414.0	187.1	49.5	138.0
L25	ZR-EW	L25+	19.9	21	5.0	62.0	13.0	14.0	25.9
L26	Hors ZR-EW	L26-	14.8	74	0.7	171.0	23.2	9.4	20.2
L26	Hors ZR-EW	L26+	14.6	20	1.0	40.0	10.4	9.8	19.5
L26	ZR-EW	L26-	87.1	78	2.5	1414.0	179.7	46.6	127.6
L26	ZR-EW	L26+	20.0	14	5.0	62.0	14.4	11.7	28.3
L27	Hors ZR-EW	L27-	14.8	79	0.7	171.0	22.5	9.8	19.9
L27	Hors ZR-EW	L27+	14.4	15	1.0	40.0	11.4	8.1	20.7
L27	ZR-EW	L27-	82.9	83	2.5	1414.0	174.9	44.8	121.1
L27	ZR-EW	L27+	21.1	9	5.0	62.0	16.5	8.5	33.8
L28	Hors ZR-EW	L28-	14.7	82	0.7	171.0	22.2	9.8	19.6
L28	Hors ZR-EW	L28+	15.2	12	1.0	40.0	11.9	7.6	22.8
L28	ZR-EW	L28-	81.5	85	2.5	1414.0	173.1	44.2	118.8
L28	ZR-EW	L28+	20.7	7	5.0	62.0	18.9	3.3	38.2
L29	Hors ZR-EW	L29-	15.1	85	0.7	171.0	22.0	10.4	19.9
L29	Hors ZR-EW	L29+	11.1	9	1.0	26.5	8.2	4.8	17.4
L29	ZR-EW	L29-	80.8	86	2.5	1414.0	172.2	43.9	117.7
L29	ZR-EW	L29+	20.5	6	5.0	62.0	20.7	-1.2	42.2
L30	Hors ZR-EW	L30-	15.0	86	0.7	171.0	22.0	10.3	19.7
L30	Hors ZR-EW	L30+	12.4	8	3.5	26.5	7.8	5.9	18.9
L30	ZR-EW	L30-	79.3	88	2.5	1414.0	170.5	43.2	115.4
L30	ZR-EW	L30+	24.0	4	5.0	62.0	25.7	-16.9	64.9

Tabl. 18. Moyennes des concentrations en chlordécone dans les queues de langouste blanche *P. argus* par seuil de taille, entre les 'zones rouges' sud-atlantique et baie de Fort-de-France (codées ZR-EW) d'une part, et l'ensemble des autres zones (codées Hors ZR-EW) d'autre part, sous l'hypothèse H3 (valeur du seuil).

L Seuil	Zones	Classe L/seuil	µg/kg pf	N	Mini-mum	Maxi-mum	Ecart-type	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%
L22	Hors ZR-EW	L22-	15.0	30	0.7	78.9	15.7	9.2	20.9
L22	Hors ZR-EW	L22+	15.3	64	0.7	171.0	23.0	9.5	21.0
L22	ZR-EW	L22-	110.3	41	5.0	1414.0	236.5	35.6	184.9
L22	ZR-EW	L22+	51.1	51	5.0	271.0	66.0	32.6	69.7
L23	Hors ZR-EW	L23-	15.3	41	0.7	78.9	15.3	10.5	20.2
L23	Hors ZR-EW	L23+	15.1	53	0.7	171.0	24.4	8.4	21.8
L23	ZR-EW	L23-	99.3	55	5.0	1414.0	208.5	42.9	155.6
L23	ZR-EW	L23+	45.1	37	5.0	251.0	58.3	25.7	64.5
L24	Hors ZR-EW	L24-	17.7	50	0.7	171.0	26.3	10.3	25.2
L24	Hors ZR-EW	L24+	12.3	44	2.0	66.0	11.7	8.8	15.9
L24	ZR-EW	L24-	98.5	65	5.0	1414.0	194.2	50.4	146.7
L24	ZR-EW	L24+	26.8	27	5.0	143.0	28.8	15.4	38.3
L25	Hors ZR-EW	L25-	16.4	57	0.7	171.0	24.9	9.8	23.0
L25	Hors ZR-EW	L25+	13.3	37	2.0	66.0	12.4	9.2	17.5
L25	ZR-EW	L25-	94.4	71	5.0	1414.0	186.8	50.2	138.6
L25	ZR-EW	L25+	20.3	21	5.0	62.0	12.8	14.5	26.1
L26	Hors ZR-EW	L26-	15.3	74	0.7	171.0	23.0	10.0	20.7
L26	Hors ZR-EW	L26+	14.7	20	2.0	40.0	10.2	9.9	19.5
L26	ZR-EW	L26-	87.7	78	5.0	1414.0	179.4	47.3	128.2
L26	ZR-EW	L26+	20.6	14	5.0	62.0	14.0	12.5	28.7
L27	Hors ZR-EW	L27-	15.3	79	0.7	171.0	22.3	10.4	20.3
L27	Hors ZR-EW	L27+	14.5	15	2.0	40.0	11.2	8.3	20.7
L27	ZR-EW	L27-	83.6	83	5.0	1414.0	174.6	45.5	121.7
L27	ZR-EW	L27+	21.1	9	5.0	62.0	16.5	8.5	33.8
L28	Hors ZR-EW	L28-	15.2	82	0.7	171.0	21.9	10.4	20.0
L28	Hors ZR-EW	L28+	15.2	12	2.0	40.0	11.8	7.7	22.8
L28	ZR-EW	L28-	82.2	85	5.0	1414.0	172.8	44.9	119.4
L28	ZR-EW	L28+	20.7	7	5.0	62.0	18.9	3.3	38.2
L29	Hors ZR-EW	L29-	15.6	85	0.7	171.0	21.8	10.9	20.3
L29	Hors ZR-EW	L29+	11.2	9	2.0	26.5	8.0	5.0	17.4
L29	ZR-EW	L29-	81.5	86	5.0	1414.0	171.9	44.6	118.3

L Seuil	Zones	Classe L/seuil	$\mu\text{g/kg pf}$	N	Minimum	Maximum	Ecart-type	Moy. - IC95%	Moy. + IC95%
L29	ZR-EW	L29+	20.5	6	5.0	62.0	20.7	-1.2	42.2
L30	Hors ZR-EW	L30-	15.5	86	0.7	171.0	21.7	10.8	20.1
L30	Hors ZR-EW	L30+	12.4	8	3.5	26.5	7.8	5.9	18.9
L30	ZR-EW	L30-	79.9	88	5.0	1414.0	170.2	43.9	116.0
L30	ZR-EW	L30+	24.0	4	5.0	62.0	25.7	-16.9	64.9

Comparaison des résultats entre les trois hypothèses

Les analyses réalisées selon les hypothèses H1, H2 et H3 pour les échantillons présentant une concentration inférieure au seuil de quantification présentent les mêmes tendances générales, avec un léger glissement de l'ensemble des valeurs.

La Fig. 36 illustre les très faibles écarts sur les résultats entre l'application des hypothèses H0, H1 et H2 pour les échantillons situés sous le seuil de quantification. La justification de s'y intéresser ne réside que dans le fait qu'une importante partie des estimations de la valeur haute de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne des concentrations se situent à proximité immédiate de la valeur de référence considérée (20 $\mu\text{g/kg pf}$), et que le choix de l'une ou l'autre des trois hypothèses fait basculer le résultat d'un côté ou de l'autre de cette valeur de référence.

P. argus - Chlordécone selon la zone et le seuil de taille

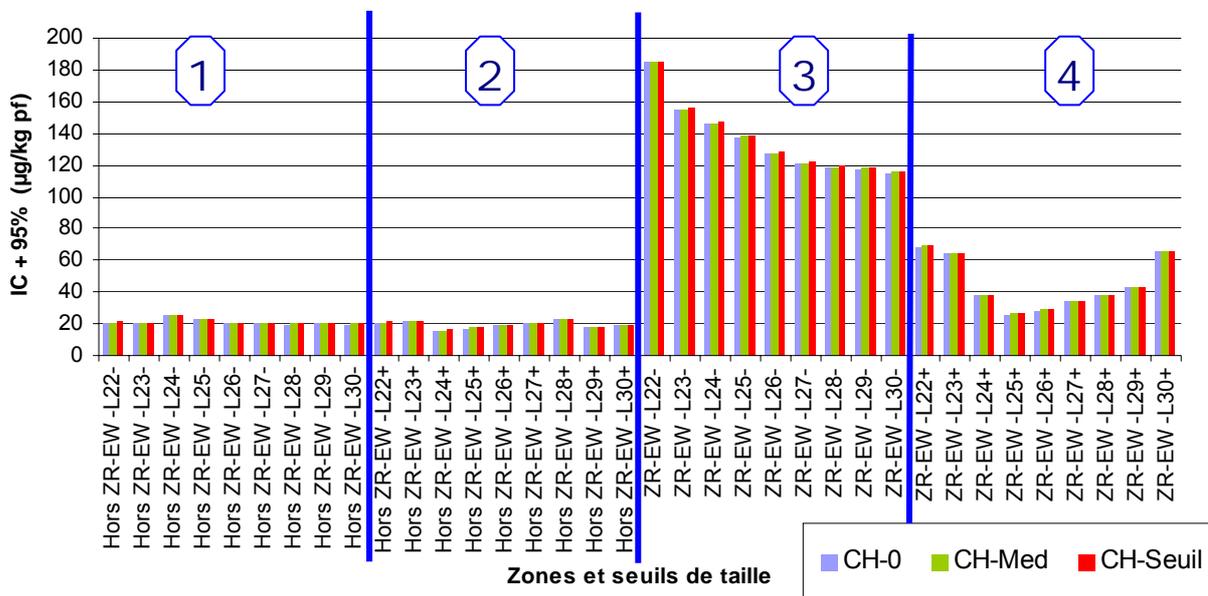


Fig. 36. Borne supérieure de l'intervalle de confiance à +95 % par zone et par seuil de taille pour la langouste blanche *P. argus*, selon les trois hypothèses de gestion des valeurs sous le seuil de détection. Avec en ① et ② les échantillons hors de la zone rouge de la Fig. 22, en ③ et ④ les échantillons dans cette zone rouge, ① et ③ incluant tous les échantillons sous la valeur seuil de taille (L totale en cm), ② et ④ tous ceux de longueur supérieure à ces valeurs seuils (valeurs seuils glissantes de 22 à 30 cm).