



Capacité éventuelle des poissons marins contaminés par la chlordécone à se décontaminer à compter du moment où ils ne sont plus exposés à la contamination sur la base du modèle expérimentale de l'ombrine ocellée (*Sciaenops ocellatus*).

Septembre 2016

Rapport final

Dr. Soazig Lemoine

UMR BOREA - DYNECAR
Université des Antilles
Laboratoire de Biologie Marine
Campus de Fouillole
97117 Pointe à Pitre.
Guadeloupe
slemoine@univ-ag.fr

Convention DAAF guadeloupe
Signée le 1 juillet 2015 (2015-0162-08-8)

1. INTRODUCTION	3
2. METHODES	4
1) Mise en place de l'étude	4
a. Les conditions d'élevage et de contamination des poissons	4
b. Décontamination.....	8
c. Réalisation et détails des prélèvements	8
3. RESULTATS	9
1) Suivi des paramètres	9
2) Effet de la chlordécone sur la mortalité.....	10
3) Effet de la chlordécone sur le poids.....	10
4) Effet de la chlordécone sur la taille	11
5) Activité enzymatique (stress oxydant)	12
6) Cinétique de contamination par la chlordécone et sa décontamination	13
Conclusions	16
4. REFERENCES.....	18

1. INTRODUCTION

Durant les années 1972 à 1993, la chlordécone, pesticide organochloré, a été utilisée dans les Antilles françaises afin de lutter contre le charançon du bananier. De formule moléculaire $C_{10}Cl_{10}O$, différentes appellations, telles que Kepone, Curlone, existent pour la molécule. Du fait de sa persistance importante, elle est qualifiée de Polluant Organique Persistant (POP) et est considérée comme non biodégradable. Cette molécule, très persistante dans l'environnement naturel, se retrouve jusque dans les écosystèmes marins, contaminant de nombreuses espèces de Mollusques, Crustacés et poissons au dessus de la limite maximale de résidus autorisés pour leur commercialisation ($20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ p.f.). Ces résultats ont donné lieu à la création de zones d'interdictions de pêche sur les littoraux Guadeloupéen et Martiniquais (Bertrand *et al.*, 2009, 2010, 2013 ; Bouchon et Lemoine 2003, Arrêtés préfectoraux 2006-230; 2008-251; 2010-721; 2013-057; 2014-012). Le projet CHLOHAL (Figure 1) clos en 2015 et qui portait sur « la consolidation des connaissances sur la contamination de la faune halieutique par la chlordécone autour de la Martinique et de la Guadeloupe » montre en particulier qu'une majorité des échantillons analysés sont compris en terme de concentration en Chlordécone entre 20 et 200 $\mu\text{g kg}^{-1}$ p.f. (Dromard *et al.* 2015).

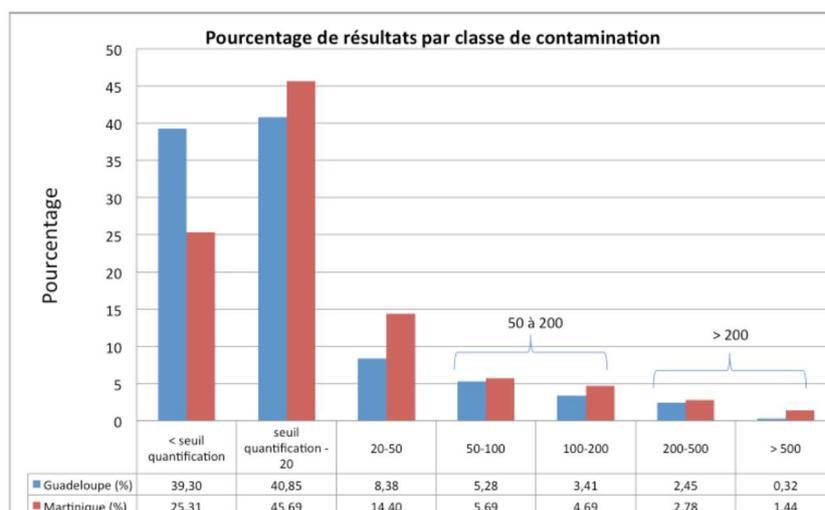


Figure 1 Pourcentage des concentrations en chlordécone par classe de contamination (Tiré du rapport CHLOHAL, Dromard *et al.*, 2015).

Depuis les travaux menés sur le bœuf montrant une décontamination, des espoirs existent pour évaluer la capacité des poissons à se décontaminer (Mahieu *et al.* Date non communiquée). Aucune étude n'a été réellement réalisées sur ce sujet en Guadeloupe sur des organismes aquatiques (crustacés, mollusques, poissons...). Certaines études scientifiques américaines ont montré des capacités de décontamination sur des poissons (Van veld *et al.*, 1984 ; Bahner *et al.* 1977) montrant une diminution de 30 à 50% en 24 et

28 jours. La présente étude est donc le premier essai sur un poisson marin en Guadeloupe. Pour des raisons de structure et de capacité d'élevage le choix a été fait de travailler sur des alevins de 4-5 cm d'ombrine *Sciaenops ocellatus* disponible au parc aquacole OCEAN SA qui pourront être contaminés dans des aquariums en condition contrôlée au laboratoire de biologie marine de l'université des Antilles.

2. METHODES

1) Mise en place de l'étude

Afin de cadrer l'expérimentation, une réunion a eu lieu le 4 février 2016 en présence de Pol Kermorgant (DAAF Guadeloupe), Marlène Raison (DAAF Guadeloupe), Laurie Bisque (Stagiaire Master 2) et Soazig Lemoine (MCF Université des Antilles) au laboratoire de biologie marine de l'université des Antilles.

a. Les conditions d'élevage et de contamination des poissons

Les alevins de *Sciaenops ocellatus* sont nés à IFREMER Martinique le 7 janvier 2016 et sont arrivés à OCEAN SA Pointe Noire le 8 janvier 2016.

Embranchement : Vertébrés

Classe : Ostéichthyens

Ordre : Perciformes

Sous-Ordre : Téléostéens



Famille : Sciaenidae

Espèce : *Sciaenops*

Genre : *ocellatus*

Figure 2 Jeune individu de *Sciaenops ocellatus*

Nom vernaculaire américain : Red drum ou Red fish

Nom vernaculaire français : courbine ou tambour rouge

Nom commercial martiniquais et Guadeloupéen : Loup des Caraïbes

Le 18 février 2016 : arrivée des alevins et mise en acclimatation des poissons dans les aquariums remplis de 28 litres d'eau de mer filtrée et oxygénée. La salle d'élevage étant climatisée à 25°C. Deux changements de la moitié de l'eau sont prévus chaque semaine.

Les paramètres physicochimiques des aquariums sont prises (pH, teneur en oxygène) tous les jours et les nitrites deux ou trois fois dans la semaine. Afin de suivre une éventuelle décontamination des individus (baisse de la concentration en chlordécone dans les tissus), il y avait la nécessité d'avoir une concentration suffisante de la molécule dans les poissons au départ (environ $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ de p.f. comme indiqué dans la convention). En 2015, les résultats dans des individus en contact avec la molécule dissoute dans l'eau ($0,1 \mu\text{g L}^{-1}$) durant 15 jours sur cette espèce montraient une concentration en chlordécone de $107 \mu\text{g kg}^{-1}$ de P.F.

En se basant sur l'étude financée en 2015 par les affaires maritimes de Guadeloupe et dirigée par S. Lemoine, des concentrations d'intoxication ont été choisies : $0,15 \mu\text{g L}^{-1}$ et $0,075 \mu\text{g L}^{-1}$ de chlordécone. Le temps de mise en contact avec la molécule sera de treize jours suivi ensuite par une période d'élevage dans de l'eau non contaminée (phase dite de décontamination). Le choix de travailler avec ces deux concentrations permettra de compléter le jeu de donnée sur la cinétique d'incorporation de la CLD en aquarium mais également de vérifier la répétabilité de l'expérience.

De plus nous avons initié en parallèle une étude complémentaire sur l'impact de la chlordécone dans les poissons contaminés. Pour cela une intoxication est prévue avec de faibles concentrations ($0,03$ et $0,05 \mu\text{g L}^{-1}$ sur quatre jours). Cette expérience est intitulée « Manip biomarqueur ». Le dosage d'une enzyme (la catalase) impliquée dans le stress oxydant est réalisé.

Pour réaliser ces expériences, l'intoxication a démarrée le 23 février 2016 avec environ 2000 poissons mis dans des aquariums remplis d'eau contenant de la chlordécone.

L'eau de mer utilisée est prélevée en face du laboratoire de biologie marine de l'Université des Antilles, à la sortie de la marina de Point-à-Pitre (Petit cul de sac marin). Une motopompe (SUBARU 4.5 EX 16) est utilisée afin de prélever l'eau et remplir deux cuves de 800 litres chacune.

Changement eau des aquariums

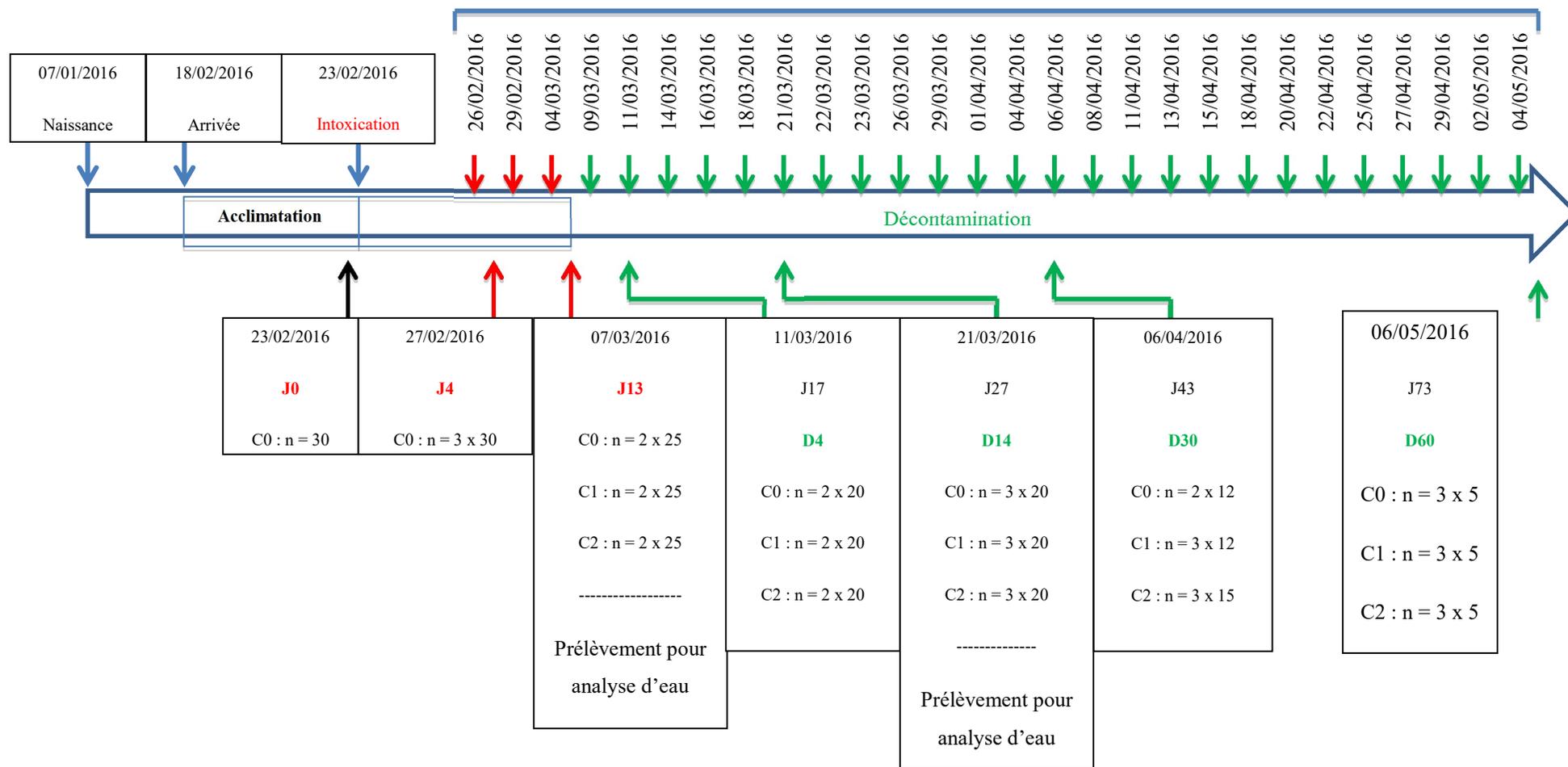


Figure 3 Frise chronologique présentant les divers évènements, prélèvements et changements d'eaux pour la manipulation contamination et décontamination

Un système de double filtration sur filtre (50 μm) puis sur charbon actif permet de filtrer l'eau et d'éliminer la présence potentielle de polluants. La contamination par la chlordécone rend impossible l'utilisation de filtres à l'intérieur des aquariums car ces derniers piègeraient la molécule. Les aquariums sont dans un circuit dit « fermé » c'est-à-dire que les aquariums ne possèdent pas de système de filtration. Ainsi, l'eau est changée régulièrement : deux fois par semaine lors de la phase de contamination puis tous les jours ou deux jours pour la phase de décontamination. Lors des changements d'eau, la moitié de l'eau des aquariums contaminés est vidée et stockée dans une cuve (l'eau contaminée par la chlordécone doit être traitée sur charbon actif avant son élimination). Lors de la phase de décontamination trois quart de l'eau des aquariums est changée tous les deux jours afin d'avoir une eau sans chlordécone en cas de relargage de la molécule (même si théoriquement la quantité relarguée n'est pas suffisante) par les poissons lors de cette phase de décontamination en « eau propre ». L'oxygénation des aquariums est assurée par des pompes à air muni d'une pipette pasteur en verre plutôt que des diffuseurs classiques (type « sucre ») qui risqueraient de capter la chlordécone présente.

Pour la manipulation « contamination – décontamination » 56 poissons ont été placés au début de l'expérience (J-5) dans chaque aquarium pour les trois conditions ($C_0 = 0 \mu\text{g L}^{-1}$, $C_1 = 0,15 \mu\text{g L}^{-1}$ et $C_2 = 0,075 \mu\text{g L}^{-1}$) soit un total de 1680 individus. Pour cette manipulation, trois prélèvements pour des analyses en chlordécone ont été réalisés pendant la phase de contamination avant l'exposition, à quatre jours et treize jours d'exposition (J0, J4 et J13) et quatre lors de la phase de décontamination (J17, J27, J43 et J73). A noter que les J17, J27, J43 et J73 correspondent à 4, 14, 30 et 60 jours de détoxication respectivement (D4, D14, D30, D60). A chaque prélèvement les poissons sont placés à -20°C . Chaque poisson est mesuré, pesé puis vidé. Deux types de tissus sont analysés : le poisson entier sans viscères et les viscères.

Pour la manipulation « biomarqueur » huit poissons par condition sont prélevés toutes les 24 heures jusqu'à 96h et placés à -80°C . Les concentrations utilisées sont ($A = 0 \mu\text{g L}^{-1}$, $C_1 = 0,15 \mu\text{g L}^{-1}$, $C_2 = 0,075 \mu\text{g L}^{-1}$, $C_3 = 0,05 \mu\text{g L}^{-1}$, $C_4 = 0,03 \mu\text{g L}^{-1}$) Un prélèvement pour une analyse de chlordécone a également été effectué au terme des 96 h. Pour cette expérience 40 ombrines ont été disposées dans chaque aquarium (J-4) soit un total de 600 poissons. A noter que pour les concentrations de 0,15 et 0,075 $\mu\text{g L}^{-1}$ deux dosages de la concentration en CLD dans les poissons sont réalisés à 4 jours avec 16 poissons en moins pour la manipulation biomarqueur (possibilité de vérifier une influence du nombre de poisson avec l'expérience contamination).

b. Décontamination

A la suite des 13 jours d'intoxication les individus ont été mis dans de l'eau sans chlordécone et il a été décidé de réaliser des prélèvements à différents temps de détoxication 4, 14, 30, 60 jours (D4, D14, D30, D60) et si il reste des individus 90 jours (D90).



Figure 4 Salle d'expérimentation du laboratoire de biologie marine de l' Université des Antilles

c. Réalisation et détails des prélèvements

Les poissons ont été pesés, mesurés et vidés individuellement. Des lots d'échantillon ont été prélevés et envoyés au laboratoire LABOCEA (plouzané) pour un dosage de la chlordécone dans les tissus.

Le Tableau 1 présente la constitution des lots pour l'expérience contamination/décontamination. Les lots étaient constitués soit d'individus vidés ou des viscères. Vu le poids faible des viscères elles ont toutes été regroupées pour constituer un lot « viscères » par condition et temps correspondant. Les viscères analysées sont celles des individus C1= 0,15 $\mu\text{g L}^{-1}$. Un lot contenant 23 poissons sortant de l'écloserie de pointe noire avant leur arrivée au laboratoire de biologie marine d'un poids de 14,1 g a été également constitué pour vérifier l'absence de chlordécone au début de l'expérience. Le laboratoire LABOCEA a besoin d'au moins 10 g de chair afin de réaliser le dosage. Les lots dépendent du poids individuel des poissons qui était par exemple de 0,85 g (poids moyen) au début de l'expérience. Dans le cadre de l'expérience biomarqueur huit individus pour les dosages enzymatiques ont été prélevés à 24, 48, 72 et 96 h et mis à -80°C .

Tableau 1 Tableau de la constitution des lots pour les lots d'échantillons pour l'expérience contamination / décontamination envoyés à LABOCEA pour le dosage de la chlordécone. Le nombre de poissons pour constituer les lots dépend de leur poids individuel. Les lots sont constitués de manière à avoir environ 20g de tissus.

		T0		T4		T13		D4 T17		D14 T27		D30 T43		D60 T73	
lot		nombre	poids (g)	nombre	poids (g)	nombre	poids (g)	nombre	poids (g)	nombre	poids (g)	nombre	poids (g)	nombre	poids (g)
C0 0 µg L-1	1	29	22,4	32	24,8	19,6	25	20	18,4	20	22,1	12	23,9	5	23,3
	2	30	20,9	30	20,2	19,4	25	20	16,6	20	24,1	12	19,5	5	23,2
	3	30	22,1	31	24,8					20	18,7			5	23,3
C1 0,15 µg L-1	1			31	21,6	25	19,5	20	16,5	20	19,7	12	20,1	5	21,6
	2			30	20	25	20,7	20	18,7	20	22,6	12	21,3	5	22
	3			30	19					20	21,7	12	17,3	5	22,7
	viscères	89	4,3	91	3,8	50	2,3	40	1,5	60	4,3	36	4	15	4
C2 0,075 µg L-1	1			32	21,6	18,4	25	20	14,9	20	18,1	15	20,2	5	16,6
	2			30	19,7	17,5	25	20	14,7	20	19,9	15	20,7	5	18,2
	3			30	20,4					20	20,1	15	20,5	5	18,5

Le Tableau 2 récapitule la constitution des lots réalisés pour le dosage de la chlordécone de l'expérience biomarqueur après 4 jours d'exposition à quatre concentrations de chlordécone (C1, C2, C3, C4) ainsi qu'un témoin acétone (TA) solvant dans lequel la chlordécone est dissoute au préalable.

En totalité 68 analyses de chlordécone dans les tissus ont été réalisés dans cette étude.

Tableau 2 Tableau de la constitution des lots pour les lots d'échantillons pour l'expérience biomarqueur envoyés à LABOCEA pour le dosage de la chlordécone. Le nombre de poissons dépend de leur poids individuel. Les lots sont constitués de manière à avoir 20g de tissus.

		A acétone		C1 0,15 µg L-1		C2 0,075 µg L-1		C3 0,04 µg L-1		C4 0,03 µg L-1	
lot		nombre	poids (g)	nombre	poids (g)	nombre	poids (g)	nombre	poids (g)	nombre	poids (g)
T4	1	30	22,7	30	25,4	30	20,4	30	23,3	30	20,2
	2	39	25,5	34	28,3	41	24,4	30	18,9	39	30,2

3. RESULTATS

1) Suivi des paramètres

La saturation moyenne en oxygène est de 92,6 % (minimum : 66,2 ; maximum : 97,7). Le pH moyen est de 8,02 (minimum : 7,57 ; maximum : 8,24). La température moyenne prélevée chaque matin est de 25,5 (minimum : 24,2 ; maximum : 27,3). En parallèle, une sonde autonome (Sensor HOBO Water temp. Pro v2) a été placée dans l'aquarium témoin n°1 pour avoir un suivi de la température prélevée automatiquement toutes les 4 heures. Une seule valeur de température maximale de 29,015°C a été enregistrée le 23/03/2016 qui correspond à un changement d'eau, il est possible que cette dernière ait été enlevée de l'aquarium lors du vidage et remplissage d'eau de

l'aquarium. Avec cette sonde la moyenne obtenue est de 25,16. La salle était climatisée à 25°C. La salinité mesurée était de 40‰.

2) Effet de la chlordécone sur la mortalité

Après une mortalité assez élevée les premiers jours, à partir du 20ème jour un plateau semble se dessiner et cela jusqu'à la fin de la manipulation. Il n'y a pas de différence significative sur la mortalité lors de la contamination de J0 à J13 entre les trois conditions (p-value 0,874). Il n'y a également pas de différence significative lors de la phase de décontamination de J14 à J73 (p-value 0,619). La chlordécone n'aurait pas d'impact sur la mortalité. Ce sont les conditions d'élevage qui semblent être responsable de celle-ci. Les poissons qui sont des juvéniles d'un mois sont fragiles et une mortalité est aussi observée dans les conditions d'élevage chez les aquaculteurs pourtant meilleur que dans les aquariums de l'étude. Le fait de les avoir mis dans des conditions différentes peut donc l'expliquer. Durant l'élevage suite à des prélèvements pour les dosages, le nombre de poisson diminue dans chaque aquarium. Il passe de 56 à 36 poissons par aquarium en 15 jours, une baisse de la mortalité est observée au bout de 15-20 jours. Une période d'acclimatation plus longue que quatre jours est à conseiller pour de futures expériences.

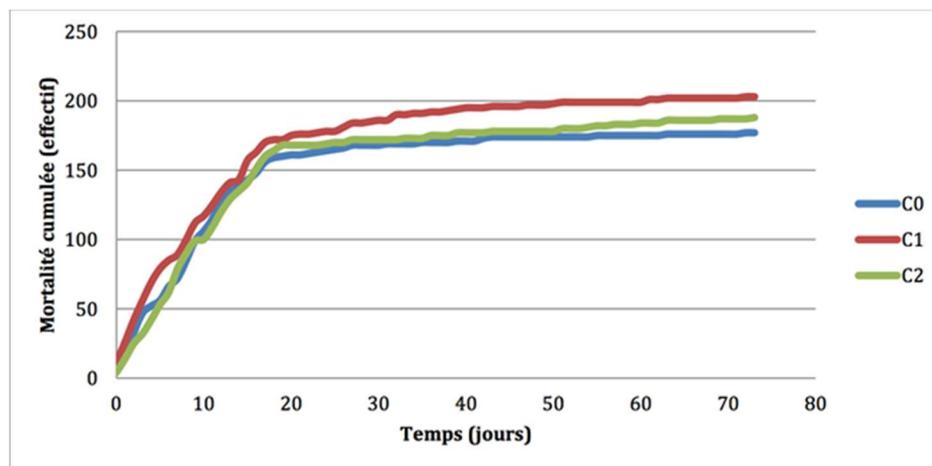


Figure 5 Mortalité cumulée durant les 73 jours d'élevage (13 jours de contamination et 60 jours de décontamination). (tiré du rapport Master 2 Bisque L. 2016)

3) Effet de la chlordécone sur le poids

A chaque prélèvement les poissons ont été pesés afin de voir l'effet des différentes concentrations au cours du temps sur le poids des poissons. La Figure 6 indique l'évolution du poids moyen des poissons pour les trois conditions (C0, C1 et C2). Les p-values indiquent des différences significatives entre les trois conditions pour chaque prélèvement excepté à T13 (p-value 0,141). Cependant, il ne semble pas y avoir de différence significative entre les C0 et les C1 à l'exception de T4 (p-value 0,093). En ce qui concerne les C0 et les C2, les p-values sont toutes inférieures à

0,05 hormis à T4 (p-value 0,866). Il semblerait que la plus forte des concentrations (0,15 $\mu\text{g L}^{-1}$) n'affecte pas la prise de poids des poissons au cours du temps alors que ce n'est pas le cas avec une concentration de 0,075 $\mu\text{g L}^{-1}$ où le poids des poissons est inférieur aux poissons témoins et à ceux exposés à 0,15 $\mu\text{g L}^{-1}$ de chlordécone. A T0 la masse moyenne des individus est de 0,85 g contre 4,84 g en fin de manipulation. En 73 jours la masse des poissons a quintuplée (5,67) (Tableau 3).

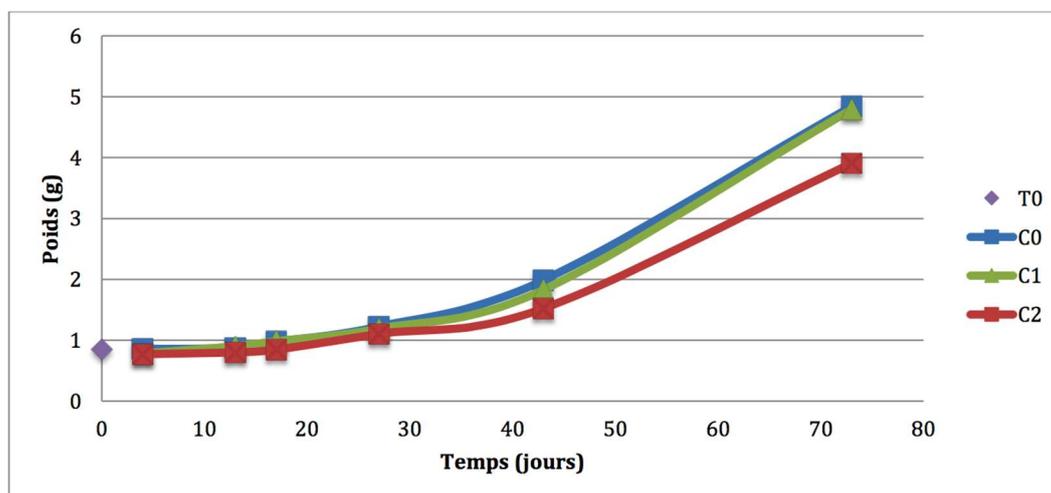


Figure 6 Evolution du poids des poissons durant les 73 jours d'élevage pour les trois conditions d'intoxication (C1=0,15 ;C2=0,075 ;C0=0 $\mu\text{g/L}$). (Tiré du rapport de M2 de Bisque L. 2016)

Tableau 3 Poids des poissons à la fin de la contamination (J13) et de la décontamination (J73).

		T0	T4	T13	D4	D14	D30	D60	Rapport total
C0	pds moyen g	0,85	0,86	0,87	0,98	1,23	1,99	4,84	5,67
	hausse du poids		1,00	1,02	1,12	1,25	2,03	2,44	
C1	pds moyen g		0,78	0,90	0,99	1,19	1,83	4,79	5,61
	hausse du poids		0,92	1,15	1,09	1,21	1,86	2,62	
C2	pds moyen g		0,77	0,80	0,85	1,11	1,52	3,91	4,57
	hausse du poids		0,90	1,04	1,06	1,30	1,80	2,57	

4) Effet de la chlordécone sur la taille

A J0 la taille moyenne des poissons était de 4,1 cm, à J73 elle est de 7,9 cm pour les poissons témoins et 7,2 mm pour les poissons exposés à la concentration C2. La taille moyenne des poissons a pratiquement doublé en 73 jours. La Figure 7 indique l'évolution de la taille des poissons pour chaque prélèvement pour les trois conditions (C0, C1 et C2). Les pvalues indiquent des différences significatives entre les trois conditions pour chaque prélèvement sauf à J27 (p-value 0,337). Entre les conditions témoins et les poissons exposés à 0,15 $\mu\text{g/L}$ les pvalues sont toutes supérieures à 0,05. Pour les témoins et les C2 deux prélèvements sur les six effectués n'ont pas de différences significatives (J13 : 0,110 ; J27 : 0,333). Avec une concentration de 0,15 $\mu\text{g/L}$ de chlordécone, la

taille des poissons ne semble pas être affectée alors qu'avec une concentration deux fois plus faible (0,075 µg/L) la taille semble être affectée puisque les poissons sont plus petits que les témoins et ceux exposés à 0,15 µg/L.

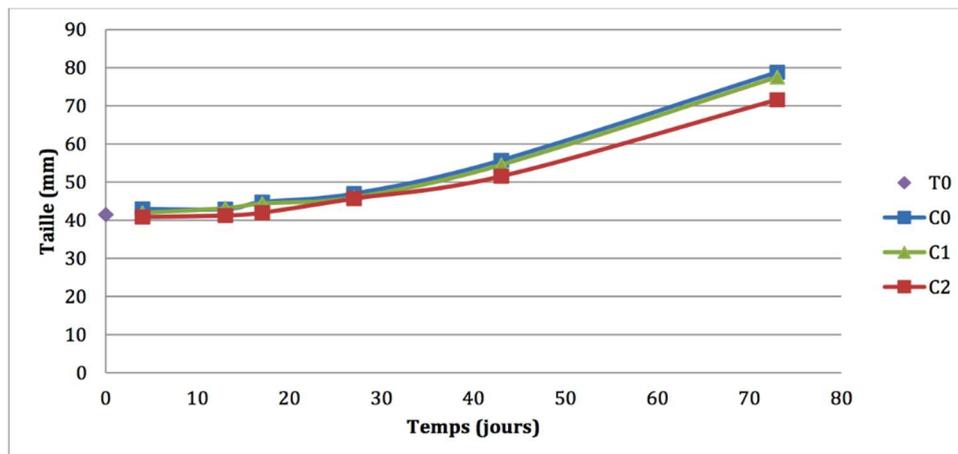


Figure 7 Evolution de la taille des poissons durant les 73 jours d'élevage pour les trois conditions d'intoxication (C1=0,15 ; C2=0,075 ;C0=0 µg/L). (Tiré du rapport de M2 de Bisque L.).

5) Activité enzymatique (stress oxydant)

Seuls les résultats de l'exposition aux deux premières concentrations pendant 72h sont présentés. A 24h il n'y a pas de différence significative sur les activités enzymatiques entre le témoin acétone, la concentration C1 et C2 (p-value 0,193). A 48h, une baisse de l'activité enzymatique est observée pour le témoin acétone et la concentration 2 alors que pour la concentration 1 une légère augmentation est observée. Il n'y a pas de différence significative entre le témoin acétone et la concentration 1 (p-value 0,193) ainsi que pour le témoin acétone et la concentration 2 (p-value 0,319). Cependant entre les deux concentrations C1 et C2 la p-value est de 0,055 à la limite d'une différence significative. A 72h l'activité enzymatique chez le témoin acétone continue de diminuer, cette diminution est également observée pour la concentration C1, alors qu'une augmentation se voit avec la concentration C2.

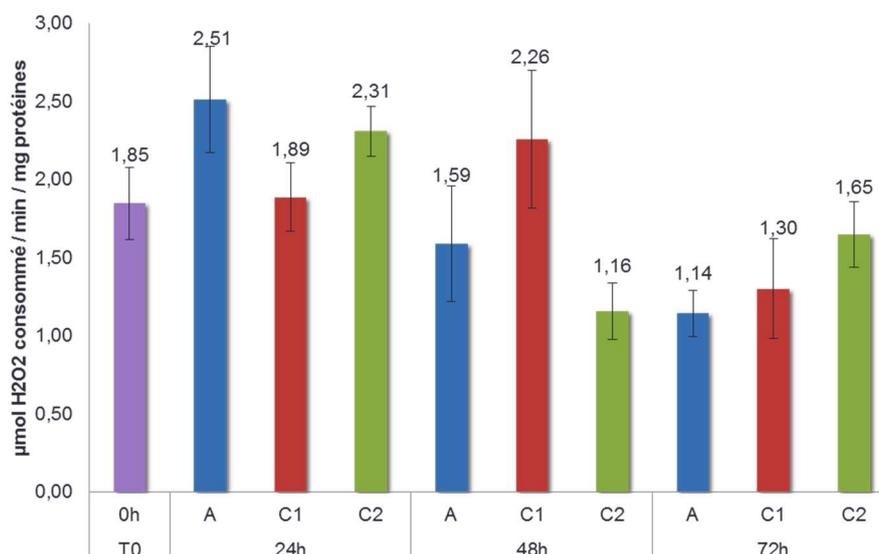


Figure 8 Activité enzymatique dans la chair de la catalase à 24,48 et 72H pour les individus exposés par concentrations C1 et C2

. La p-value entre ces trois conditions est de 0,069. Ces dosages ont été effectués avec seulement 4 poissons par condition, il faudrait plus d'échantillons afin de conforter ces résultats. A la vue de ces résultats préliminaires, la chlordécone ne semble pas influencer la catalase.

6) Cinétique de contamination par la chlordécone et sa décontamination

Comme le montre les résultats (Figure 9), la contamination des tissus se fait très rapidement (Tableau 4). Au bout de quatre jours les tissus présentent pour les conditions C1 et C2 respectivement une moyenne de 69,33 $\mu\text{g kg}^{-1}$ et de 32 $\mu\text{g kg}^{-1}$ dans le poisson vidé. Les viscères sont 3,18 fois plus concentrés en chlordécone que le reste du poisson pour les mêmes conditions (C1).

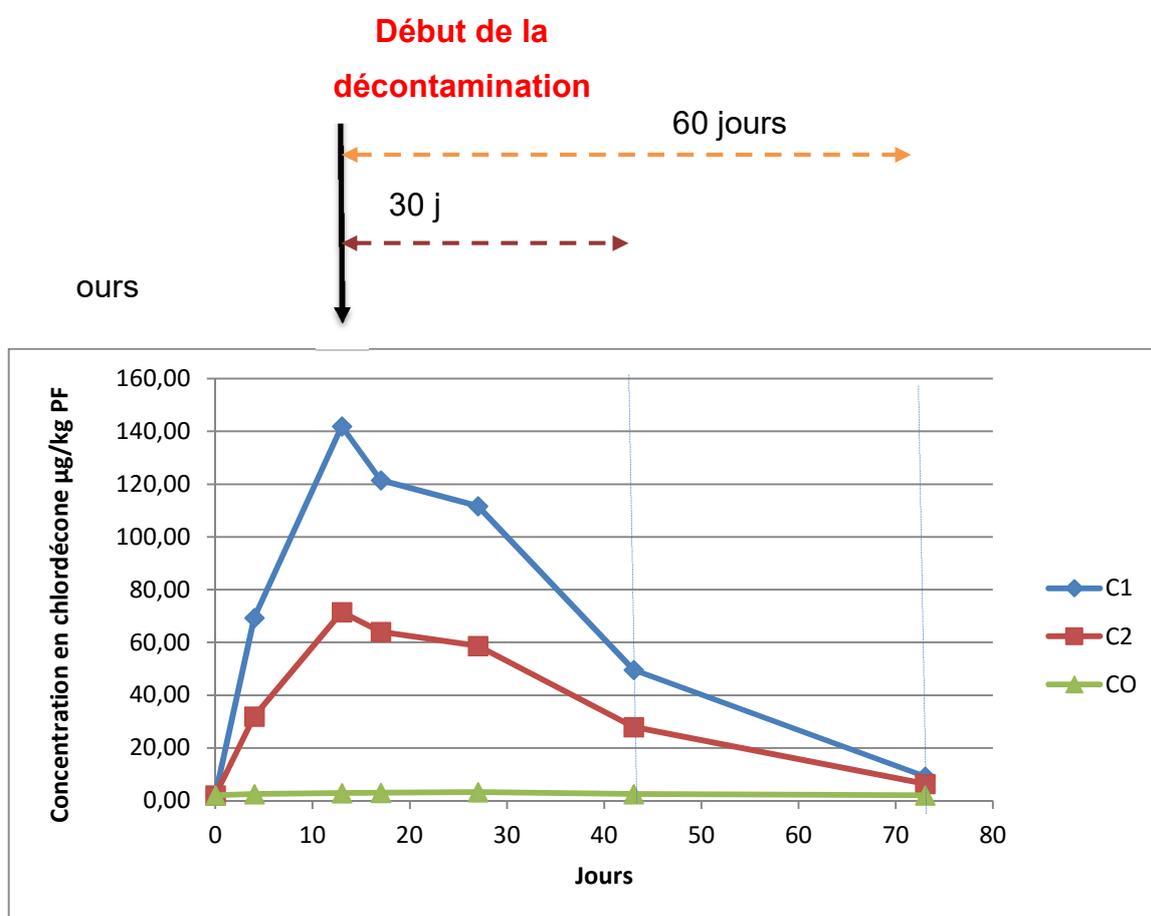


Figure 9 Evolution de la concentration en chlordécone dans les poissons vidés (sans viscères) durant la phase de contamination avec une concentration C1 de 0,15 $\mu\text{g/L}$ et C2 de 0,075 $\mu\text{g/L}$ suivi d'une phase de décontamination de 60 jours. Le lot de poissons témoins correspond à C0.

Au bout de 13 jours les concentrations sont de 142 et 71,5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ P.F. pour les deux conditions C1 et C2 respectivement. En 13 jours la concentration a augmenté par rapport au témoin pour les poissons exposés à C1 de 49,8 fois et ceux de C2 de 25 fois.

Tableau 4 Concentration en chlordécone $\mu\text{g kg}^{-1}$ PF dans le poisson vidés ou les viscères de la phase de contamination après 4 et 13 jours (T4 et T13) ainsi que de la phase de décontamination de 4, 14, 30 et 60 jours (D4, D14, D30, D60).

	lot	T0		T4		T13		D4 T17		D14 T27		D30 T43		D60 T73	
		Concentration	Moyenne												
C0 0 $\mu\text{g L}^{-1}$	1	1,70		2,10		2,40		3,20		3,70		2,30		2,60	
	2	2,50	2,07	3,50	2,50	3,30	2,85	2,90	3,05	2,60	3,23	2,90	2,60	2,00	2,10
	3	2,00		1,90						3,40				1,70	
C1 0,15 $\mu\text{g L}^{-1}$	1			69,00		144,00		124,00		119,00		48,00		8,70	
	2			66,00	69,33	140,00	142,00	119,00	121,50	100,00	111,67	44,00	49,67	8,80	9,17
	3			73,00						116,00		57,00		10,00	
	viscères		6,60		220,00		508,00		515,00		256,00		115,00		27,00
C2 0,075 $\mu\text{g L}^{-1}$	1			33,00		73,00		66,00		58,00		26,00		6,50	
	2			33,00	32,00	70,00	71,50	62,00	64,00	57,00	58,67	30,00	28,00	6,30	6,40
	3			30,00						61,00		28,00		6,40	

La différence pour les deux conditions de contamination au terme des treize jours de contamination est de 1,98 fois ce qui correspond parfaitement au fait que la concentration C1 soit deux fois supérieure à C2. Il semble y avoir une corrélation entre la concentration dans l'eau et celle dans les tissus. Le facteur de bioconcentration est de

Le Tableau 5 indique les concentrations obtenues dans la manip biomarqueur avec moins de poissons et avec des expositions à des faibles concentrations en chlordécone. Au bout de quatre jours les résultats pour les concentrations C1 et C2 sont identiques à ceux obtenus lors de la manipulation contamination/décontamination.

De plus, la concentration C3 entraîne une concentration de $21,5 \mu\text{g Kg}^{-1}$ P.F. et celle de C4 ($0,03 \mu\text{g L}^{-1}$) une concentration dans les tissus de $12 \mu\text{g Kg}^{-1}$ P.F. Ce qui confirme une rapide accumulation de la chlordécone dans les tissus en présence de faible concentration dans l'eau.

Tableau 5 Concentration en chlordécone des individus de l'expérience biomarqueur après 4 jours à des concentrations

		A Acétone 0 $\mu\text{g L}^{-1}$	C1 0,15 $\mu\text{g L}^{-1}$	C2 0,075 $\mu\text{g L}^{-1}$	C3 0,05 $\mu\text{g L}^{-1}$	C4 0,03 $\mu\text{g L}^{-1}$
		concentration $\mu\text{g kg}^{-1}$ PF				
T4	lot 1		64,00	34,00	20,00	12,00
	lot 2	2,20	64,00	33,00	23,00	12,00
	Moyenne	2,20	64,00	33,50	21,50	12,00

Tableau 6 Baisse en pourcentage de la concentration dans les tissus

	D4	D14	D30	D60
C1 0,15 µg L ⁻¹	14%	21%	65%	94%
C2 0,075 µg L ⁻¹	10%	18%	61%	91%

Dès les quatre premiers jours de décontamination une baisse de la concentration est observée. Après 4 jours dans une eau sans chlordécone, elle est de 14 % pour C1 et de 10% pour C2. Au bout de 90 jours la baisse est de 94 et 91 % pour C1 et C2 respectivement. Après 60 jours, la concentration dans les tissus est faible et inférieur à la LMR qui est de 20 µg kg⁻¹ PF. Pour la période des 30 premiers jours de décontamination, la vitesse moyenne de diminution de la concentration est de 3,08 et de 1,45 µg kg⁻¹ PF J⁻¹ pour les individus provenant de C1 et C2 respectivement. La vitesse d'élimination de la chlordécone est de 5,13 et 1,88 µg kg⁻¹ PF pour les quatre premiers jours (D4)

Tableau 7 Rapport des concentrations en chlordécone pour chaque temps de prélèvement durant les 60 jours de décontamination.

	D4/T13	D4/D14	D14/D30	D30/D60	D60/T13
C1	1,17	1,09	2,25	5,42	15,49
C2	1,12	1,09	2,10	4,38	11,17
Viscères C1	0,99	2,01	2,23	4,259	18,81

Notons cependant que les juvéniles sur les 60 jours d'élevage ont grandi avec un poids qui a quintuplé (Tableau 3). Si on compare la concentration à la fin de la période de décontamination (D60) la concentration a diminué de 15,49 et 11,17 fois pour les poissons mis en contamination avec les concentrations C1 et C2 respectivement. Ce qui permet de dire que les poissons ont éliminés une partie de la molécule et que cette diminution de la concentration n'est pas due uniquement à une dilution par la croissance des individus. La diminution importante des concentrations observées dans les viscères confirme une réelle élimination de la molécule (Tableau 4). Le Tableau 7 montre que la décroissance se fait avec des rapports semblables. La décroissance semble plus forte pour les deux tissus analysés chez les poissons mis en contact avec la concentration C1. Ce qui est cohérent vu le niveau de concentration (T13) plus importante.

Un prélèvement à 45 jours nous aurait permis de mieux cadrer à quel moment la concentration atteignait des niveaux en dessous de la LMR.

Nous voyons également que les individus témoins sont très faiblement contaminés. Ceci est un artefact de la manipulation tous les aquariums sont dans la même pièce d'élevage et il n'est pas exclu une légère contamination croisée. Ce bruit de fond reste constant chez les témoins (proche

de $2,5 \mu\text{g kg}^{-1}$ p.f.). Il y a donc un bruit de fond qui serait à soustraire des concentrations observées en C1 et C2.

Conclusions

Un effet négatif sur la taille et le poids des poissons au cours de cette étude a été mis en évidence avec $0,075 \mu\text{g L}^{-1}$ de chlordécone dans l'eau. Des études sur d'autres espèces ont démontré l'influence de la chlordécone sur la croissance, taille et poids du foie etc...

Une baisse importante de la concentration en chlordécone est observée au bout de 60 jours. En analysant les résultats non pas en terme de concentration mais en quantité de chlordécone, il s'avère qu'il y a 83% de la chlordécone dans le poisson vidé et 17 % dans les viscères (en μg). En effet les viscères ne représentent que 5 à 6 % du poids total de l'individu même si elle sont 3 fois plus concentrée en chlordécone. Lors de la phase de décontamination cette proportion reste quasiment la même 86 % pour le poisson vidé et 14 % pour les viscères.

De nombreuses questions restent en suspens sur le mode d'entrée de la chlordécone, de sa distribution au sein de l'organisme et de ces organes ainsi que sur le mécanisme permettant à la chlordécone d'être éliminée. Un stress oxydant clair et avéré n'a pas pu être mis en évidence, il faut continuer à explorer les cibles cellulaires de la chlordécone (croissance, métabolisme, immunité, reproduction etc...). En effet une étude récente montre l'impact en tant que perturbateur endocrinien de cette molécule chez les poissons (Yang *et al.*, 2016).

Cependant cette mise en évidence d'une dépuratation de la chlordécone en deux mois laisse entrevoir des espoirs sur la possibilité de faire diminuer la concentration en chlordécone dans des espèces d'intérêt économique fort (la langouste par exemple).

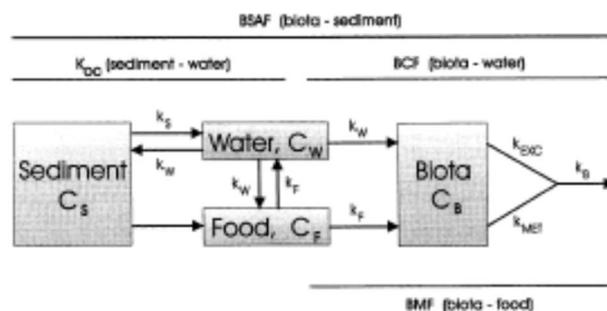


Fig. 4. Bioaccumulation model for aquatic organisms. K_{OC} : sorption coefficient; BCF: bioconcentration factor; BSAF: biota-sediment accumulation factor; BMF: biomagnification factor. C refers to a concentration and k to a rate constant. The subscripts S, W, F, B, EXC and MET refer to sediment, water, food, biota, excretion and metabolism, respectively. The digestible sediment fraction is considered to be part of the food. Adapted from Van der Oost *et al.* (1996a).

Figure 10 Modèle de bioaccumulation chez les organismes aquatiques.

Cependant de faibles concentrations en chlordécone dans l'eau peuvent contaminer très rapidement les organismes aquatiques (Figure 10). Or la libération de la chlordécone dans les rivières est prévue pour plusieurs siècles (cabidoche *et al.* 2006).

Beaucoup de questionnements existent sur le danger que les poissons de la zone d'interdiction totale de pêche dépassent « les frontières » de ces zones et contaminent d'autres zones. Si on utilise les résultats de notre étude, il y aurait de fortes chances que des poissons contaminés se décontaminent en restant dans des zones moins polluées. Comme l'indique la Figure 11 beaucoup de processus interviennent dans la bioaccumulation des polluants dans un organisme vivant.

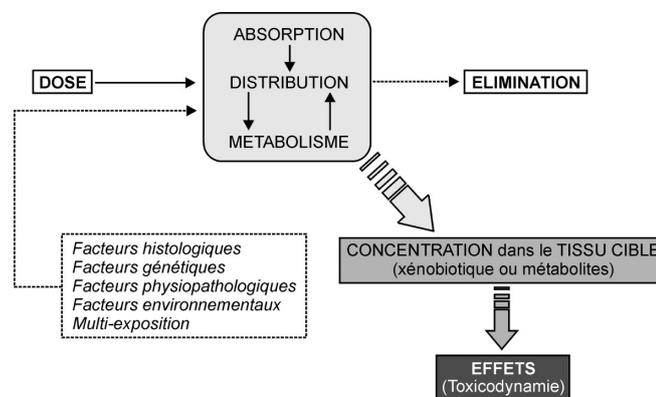


Figure 11 Schéma général du devenir d'un polluant dans un organisme.

Mais cela est à conforter car d'autres études sont à mener sur d'autres espèces pour confirmer ce phénomène de dépurcation.

4. REFERENCES

Arrêté n°2006-230 portant interdiction de la pêche et de la commercialisation des poissons et crustacés pêchés dans les rivières situées sur le territoire des communes de Petit-Bourg, Goyave, CapestereBelle-Eau, Trois-Rivières, Vieux-Fort, Basse-Terre, Saint-Claude, Gourbeyre, Baillif et Vieux Habitant.

Arrêté n°2008-251 portant interdiction de la pêche et de la commercialisation des poissons et crustacés pêchés dans les rivières situées sur le territoire des communes de Sainte-Rose, Lamentin, Petit-Bourg, Goyave, Capestere-Belle-Eau, Trois-Rivières, Vieux-Fort, Basse-Terre, Saint-Claude, Gourbeyre, Baillif et Vieux-Habitant.

Arrêté n°2010-721 PREF/DSV du 23 juin 2010 réglementant la pêche et la commercialisation des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Guadeloupe

Arrêté n°2013-057 du 26 juin 2013 réglementant la pêche et la commercialisation des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Guadeloupe

Arrêté n°2014-012 du 28 février 2014 portant modification de l'arrêté n° 2013-057 du 26 juin 2013 réglementant la pêche et la commercialisation des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Guadeloupe

Bahner L H, Wilson A J, Sheppard J M, Patrick J M, Goodman L R, Walsh G E (1977). Kepone registered Bioconcentration, Accumulation, Loss, and Transfer Through Estuarine Food Chains. Chesapeake Science, 18(3), 299.

Bertrand J A, Abarnou A, Bocquené G, Chiffoleau J F, Reynal L (2009). Diagnostic de la contamination chimique de la faune halieutique des littoraux des Antilles francaises. Campagnes 2008 en Martinique et en Guadeloupe. Ifremer, Martinique. 136 p.

Bertrand J A, Abarnou A, Bocquené G, Chiffoleau J F, Reynal L (2010). Diagnostic de la contamination chimique de la faune halieutique des littoraux des Antilles francaises. Campagne complémentaire 2009 en Guadeloupe. Ifremer, Martinique. 23 p.

Bertrand J A, Guyader O, Reynal L (2013). Caractérisation de la contamination de la faune halieutique par la chlordécone autour de la Guadeloupe. Résultats des campagnes de 2008 à 2011. Ifremer, <http://archimer.ifremer.fr/doc/00136/24762/>. 39 p.

Bouchon C, Lemoine S (2003). Niveau de contamination par les pesticides des chaines trophiques des milieux marins côtiers de la Guadeloupe et recherche de biomarqueurs de génotoxicité, 1–70.

Bisque L., Lemoine S. (maître de stage). Juin 2016. Master 2 Toxicologie de l'environnement Université d'Angers. Etude de la contamination et de la capacité de décontamination du poisson marin d'élevage

Scianops ocellatus exposé à la chlordécone. Suivi de la contamination d'un biomarqueur du stress oxydant. 21 pages.

Cabidoche Y M, Lesueur Jannoyer M (2011). Pollution durable des sols par la chlordécone aux Antilles : comment la gérer ? *Innovations agronomiques* 16, 117-133.

Dromard C., J.P. Allenou, Y. Bouchon-Navaro, S. Lemoine, E. Thouard, L. Reynal, J.A.Bertrand, et C. Bouchon. Consolidation des connaissances sur la contamination de la faune halieutique par la chlordécone autour de la Martinique et de la Guadeloupe (Projet « CHLOHAL »). 84 pages.

Gaume B, Dodet N, Thomé P, Lemoine S (2015). Expression of biotransformation and oxidative stress genes in the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* exposed to chlordecone. *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 22, Number 11.

Mahieu Maurice, Archimède Harry, Cabidoche Yves-Marie, Iotti Jean. Possibilités de décontamination de bovins contaminés par la Chlordécone. Rapport interne . 6 pages.

Peter a. van veld**, michael e. bender and morris h. roberts, jr. uptake, distribution, metabolism and clearance of chlordecone by channel catfish (*ictalurus punctatus*) ; *Aquatic Toxicology*, 5 (1984) 33-49 33.